



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SKRIPSI**

**STUDI KINETIKA FOTOKATALISIS ZAT  
WARNA METILEN BIRU OLEH SENG OKSIDA  
(ZnO) DI BAWAH PENYINARAN LAMPU UV-  
LED**

**RIKI SUBAGYO  
NRP. 0121154000028**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si.**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SCRIPT**

**KINETIC STUDY ON PHOTOCATALYTIC  
METHYLENE BLUE DYE BY ZINC OXIDE  
(ZnO) UNDER UV-LED LAMP IRRADIATION**

**RIKI SUBAGYO  
NRP. 0121154000028**

**Advisor Lecture  
Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si.**

**CHEMISTRY DEPARTMENT  
FACULTY OF SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**

**STUDI KINETIKA FOTOKATALISIS ZAT  
WARNA METILEN BIRU OLEH SENG OKSIDA  
(ZnO) DI BAWAH PENYINARAN LAMPU UV-LED**

**SKRIPSI**

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
gelar Sarjana Sains pada Program Studi S-1

Departemen Kimia

Fakultas Sains

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Oleh:

**RIKI SUBAGYO  
NRP. 0121154000028**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS SAINS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**LEMBAR PENGESAHAN  
STUDI KINETIKA FOTOKATALISIS ZAT  
WARNA METILEN BIRU OLEH SENG OKSIDA  
(ZnO) DI BAWAH PENYINARAN LAMPU UV-LED**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**RIKI SUBAGYO**  
**NRP. 0121154000028**

**Surabaya, 4 Juli 2019**  
**Menyetujui,**  
**Dosen Pembimbing**



**(Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si.)**  
**NIP. 19810128 200812 2 003**

**Mengetahui,**  
**Kepala Departemen Kimia**



**Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc.**  
**NIP. 197106161997031002**

# STUDI KINETIKA FOTOKATALISIS ZAT WARNA METILEN BIRU OLEH SENG OKSIDA (ZnO) DI BAWAH PENYINARAN LAMPU UV-LED

**Nama** : Riki Subagyo  
**NRP** : 0121154000028  
**Departemen** : Kimia  
**Pembimbing** : Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si.

## ABSTRAK

Studi kinetika fotokatalisis zat warna metilen biru oleh seng oksida (ZnO) dilakukan di bawah penyinaran lampu UV-LED. Seng oksida (ZnO) yang digunakan disintesis dengan metode kopresipitasi. Seng oksida (ZnO) dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X, FESEM, dan adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub>. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa seng oksida (ZnO) memiliki struktur kristal heksagonal, ukuran partikel dari 0,125-3  $\mu\text{m}$ , luas permukaan spesifik ( $S_{\text{BET}}$ ), volume pori meso, dan volume pori mikro masing-masing sebesar 60,20  $\text{m}^2/\text{g}$ , 0,541  $\text{cm}^3/\text{g}$ , dan 0,02  $\text{cm}^3/\text{g}$ . Kinetika reaksi fotokatalisis metilen biru mengikuti hukum laju reaksi orde satu. Analisis kinetika *Langmuir-Hinshelwood* menghasilkan nilai konstanta reaksi fotokatalisis ( $k_r$ ) dan konstanta Langmuir-Hinshelwood masing-masing sebesar 2,2621  $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{menit}^{-1}$  dan 0,0144  $\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$ .

**Kata Kunci:** Fotokatalisis, Lampu UV-LED, Seng Oksida, Metilen Biru, Kinetika Langmuir-Hinshelwood

**KINETIC STUDY ON PHOTOCATALYTIC  
METHYLENE BLUE DYE BY ZINC OXIDE (ZnO)  
UNDER UV-LED LAMP IRRADIATION**

**Name** : Riki Subagyo  
**NRP** : 0121154000028  
**Department** : Chemistry  
**Advisor** : Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si.

**ABSTRACT**

Kinetic study on photocatalytic methylene blue dye by zinc oxide (ZnO) was carried out under UV-LED lamp irradiation. Zinc oxide (ZnO) was prepared by coprecipitation method. Zinc oxide (ZnO) was characterized by x-ray diffraction, FESEM, and N<sub>2</sub> adsorption-desorption. Characterization result show that zinc oxide (ZnO) have hexagonal crystal structure, particle size value between 0,125-3 μm, specific surface area (S<sub>BET</sub>), micropore volume, and mesopore volume are 60,20 m<sup>2</sup>/g, 0,541 cm<sup>3</sup>/g, and 0,02 cm<sup>3</sup>/g, respectively. The photocatalytic of methylene blue reaction kinetic follow the first orde rate law. The Langmuir-Hinshelwood kinetic analysis result shown that photocatalytic reaction constant and Langmuir-Hinshelwood constant value are 2,2621 L.mg<sup>-1</sup>.minute<sup>-1</sup> dan 0,0144 L.mg<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** Photocatalytic, UV-LED Lamp, Zinc Oxide, Methylen blue, Langmuir-Hinshelwood kinetic

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga naskah Skripsi yang berjudul **“STUDI KINETIKA FOTOKATALISIS METILEN BIRU OLEH SENG OKSIDA (ZnO) DI BAWAH PENYINARAN LAMPU UV-LED”** dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan selama penulis mengerjakan skripsi
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc. selaku Kepala Departemen Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3. Dr. Djoko Hartanto, M.Si. selaku Kepala Laboratorium Kimia Material dan Energi atas fasilitas laboratorium yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik
4. Dr. Hendro Juwono, M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama penulis menjadi mahasiswa departemen Kimia ITS
5. Dosen-dosen Departemen Kimia ITS atas ilmu dan bimbingannya yang diberikan selama penulis belajar di ITS
6. Orang tua penulis atas bantuan, baik motivasi dan semangat kepada penulis dalam perjalanan mencapai cita-cita
7. Teman-teman Kimia 2015 atas solidaritas dan kekeluargaan dalam suka maupun duka
8. Teman satu tim penelitian anin, lely, bu hellna yang selalu menyemangati dan menemani saya selama penelitian



9. Teman-teman Laboratorium Kimia Material dan Energi, Departemen Kimia ITS khususnya Nanda Pebri P. dan Vicka Lola A. Yang turut memberikan semangat, teman cerita, dan menemani selama proses penelitian
10. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan karena keterbatasan kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan juga mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun terhadap skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat dan pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, 4 Juli 2019

Riki Subagyo

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fotokatalisis.....	5
2.2 Penggunaan UV-LED dalam Fotokatalisis.....	7
2.3 Semikonduktor Seng Oksida (ZnO).....	8
2.4 Metilen Biru.....	10
2.5 Kinetika <i>Langmuir-Hinshelwood</i> .....	13
2.6 Karakterisasi.....	14
2.6.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	14
2.6.2 <i>Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)</i> .....	15
2.6.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen.....	17
2.6.4 Spektrofotometri UV-VIS.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Alat dan Bahan.....	23
3.1.1 Alat.....	23
3.1.2 Bahan.....	23

3.2	Sintesis Seng Oksida (ZnO) .....	23
3.3	Karakterisasi .....	24
3.3.1	Karakterisasi Struktur Kristal dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	24
3.3.2	Karakterisasi Morfologi Permukaan dan dengan <i>Field Emission Scanning Electron Microscope</i> (FESEM).....	24
3.3.3	Pengukuran Luas Permukaan Spesifik ( $S_{BET}$ ) dan Volume Pori.....	25
3.4	Uji Aktivitas Seng Oksida terhadap Penghilangan Zat Warna Metilen Biru dibawah Penyinaran Lampu UV-LED .....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		27
4.1	Hasil Sintesis Seng Oksida (ZnO).....	27
4.2	Hasil Karakterisasi Seng Oksida (ZnO) .....	29
4.2.1	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
4.2.2	Hasil Karakterisasi <i>Field Emission Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray</i> (FESEM-EDX) .....	30
4.2.3	Hasil Penentuan Luas Permukaan dan Volume Pori .....	32
4.3	Aktivitas Fotokatalisis Seng Oksida (ZnO) terhadap Penghilangan ( <i>Removal</i> ) Zat Warna Metilen Biru di bawah Penyinaran Lampu UV-LED .....	33
4.4	Studi Kinetika Fotokatalisis Metilen Biru oleh Seng Oksida.....	36
BAB V PENUTUP.....		41
5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran .....	41
BIOGRAFI PENULIS.....		63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Fotokatalisis .....	6
Gambar 2. 2 Struktur Kristal Seng Oksida (ZnO) .....	9
Gambar 2. 3 Struktur Metilen Biru.....	10
Gambar 2. 4 Jalur Degradasi Metilen Biru .....	12
Gambar 2. 5 Difraktogram Seng Oksida (ZnO).....	15
Gambar 2. 6 Skema komponen FESEM.....	16
Gambar 2. 7 Morfologi Seng Oksida (ZnO).....	17
Gambar 2. 8 Tipe grafik adsorpsi-desorpsi berdasarkan IUPAC .....	19
Gambar 2. 9 Hasil spektra UV-Vis metilen biru.....	21
Gambar 3. 1 (a) Reaktor Fotokatalisis (b) lampu UV-LED...	26
Gambar 4. 1 Perubahan selama proses sintesis seng oksida (ZnO) (a) sebelum ditetesi NaOH (b) sesudah ditetesi NaOH .....	27
Gambar 4. 2 Seng oksida (ZnO) hasil sintesis (a) sebelum kalsinasi (b) setelah kalsinasi pada suhu 400°C	28
Gambar 4. 3 Difraktogram dari seng oksida (ZnO) (a) sesudah kalsinasi, (b) sebelum kalsinasi, (c) JCPF 36-1451.....	29
Gambar 4. 4 Mikrograf FESEM dari Seng Oksida (ZnO) .....	30
Gambar 4. 5 Skema mekanisme pertumbuhan seng oksida (ZnO).....	31
Gambar 4. 6 Kurva isothermal adsorpsi-desorpsi nitrogen dari seng oksida (ZnO) .....	32
Gambar 4. 7 Tingkat penghilangan zat warna metilen biru dengan seng oksida; (a)-(d) Fotokatalisis metilen biru (e)-(h) Adsorpsi metilen biru dengan konsentrasi (a dan e) 5 mg/L (b dan f) 10 mg/L (c dan g) 15 mg/L (d dan h) 20 mg/L.....	34
Gambar 4. 8 Perubahan warna padatan seng oksida selama proses fotokatalisis untuk konsentrasi metilen biru (a) 5 mg/L (b) 10 mg/L (c)15 mg/L (d) 20	

	mg/L (Kiri-Kanan: 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 dan 120 menit).....	35
Gambar 4. 9	Kinetika laju reaksi (1) orde nol (2) orde satu dari fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida (ZnO) dibawah penyinaran lampu UV-LED dengan konsentrasi metilen biru (a) 5 mg/L (b) 10 mg/L (c)15 mg/L (d) 20 mg/L.....	37
Gambar 4. 10	Model kinetika Langmuir-Hinshelwood .....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan sifat lampu UV-LED dengan jenis lampu lainnya.....	8
Tabel 2. 2 Sifat fisika dan sifat kimia dari metilen biru .....	11
Tabel 4. 1 Pengukuran luas permukaan dan volume pori dari seng oksida (ZnO) .....	33
Tabel 4. 2 Perbandingan koefisien korelasi hukum laju reaksi orde nol dan orde satu.....	37

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A: SKEMA KERJA.....	53
LAMPIRAN B: DATABASE POWDER DIFFRACTION FILE .....	56
LAMPIRAN C: DATA PENGUKURAN $S_{BET}$ .....	57
LAMPIRAN D: UJI KATALISIS .....	58





# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari Kementerian Perindustrian Indonesia (2018) menunjukkan bahwa industri tekstil dan pakaian jadi mengalami peningkatan sebesar 7,53%, yang merupakan peningkatan tertinggi sejak triwulan II 2013. Produk tekstil yang dihasilkan mencapai 594.000 ton pada tahun 2018 (Kementerian Perindustrian, 2018). Jumlah tersebut sebanding dengan penggunaan zat warna sebagai komponen penting dalam industri tekstil (Ladhe dkk., 2011). Penggunaan zat warna pada industri tekstil setiap tahunnya mencapai lebih dari 700.000 ton pewarna (Wang dkk., 2018) dan hampir 20% zat warna larut ke dalam limbah industri yang dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan (Babalola dkk., 2016). Salah satu jenis zat warna sintesis yang sering digunakan adalah metilen biru.

Metilen biru merupakan zat warna yang tergolong senyawa organik heterosiklik azo yang bersifat racun, karsinogenik, dan mutagenik. Meskipun berbahaya, metilen biru banyak digunakan dalam industri tekstil karena harganya terjangkau dan mudah diperoleh (Ibrahim dkk., 2013). Metilen biru mempunyai indeks *basic blue* dan *solvent blue* sebesar 5% selama proses pewarnaan, sedangkan 95% sisanya dibuang sebagai limbah yang secara tidak langsung masuk ke dalam lingkungan.

Beberapa metode seperti metode biologi (Bankole dkk., 2018), koagulasi (Mu'azu dkk., 2018), hingga adsorpsi (Elijah dan Nwabanne, 2014) telah banyak digunakan untuk pengolahan limbah. Metode biologi menggunakan mikroorganisme yang hanya dapat menguraikan senyawa *biodegradable*, sedangkan *non-biodegradable* tetap berada dalam *sludge* yang akan kembali ke lingkungan (Tunay dkk., 1996). Metode koagulasi memiliki kelemahan dalam hal ekonomi yaitu mahal biaya operasional dari koagulan dan masih adanya *sludge* dan membutuhkan penanganan lebih lanjut (Dianggoni dkk., 2017). Metode adsorpsi memiliki kelemahan dalam hal pergantian adsorben secara berkala

dan proses pengolahan adsorben lebih lanjut membutuhkan biaya yang mahal. Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan adalah fotokatalisis.

Fotokatalisis adalah reaksi fotokimia dengan bantuan katalis. Fotokatalisis dapat digunakan untuk degradasi suatu senyawa yang melibatkan fotokatalis dan cahaya, baik cahaya ultraviolet maupun cahaya tampak, sebagai sumber emisi dalam aktivasi katalis untuk proses degradasi tersebut. Fotokatalis yang sering digunakan untuk proses fotokatalisis adalah oksida, sulfida, dan selenida logam yang mempunyai celah pita antara pita valensi dan pita konduksi dari 1,1-3,8 eV (Khan dkk., 2015). Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan oksida logam yang paling banyak digunakan untuk fotokatalisis, namun berbagai penelitian lebih lanjut dengan oksida logam lain dilakukan untuk mengkaji dan mengembangkan kinerja oksida logam lainnya pada proses fotokatalisis. Salah satu oksida logam yang banyak digunakan adalah seng oksida ( $\text{ZnO}$ ).

Seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) adalah semikonduktor II-VI dengan celah pita yang lebar (3,37 eV), besar *excitation binding energy* sangat tinggi (60 meV), konstanta dielektrik tinggi, relatif berlimpah, stabil, mudah diperoleh, dan tidak beracun (Barve dkk., 2015). Pemilihan seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) sebagai fotokatalis karena beberapa keuntungan yang dimiliki, seperti ramah lingkungan, dan murah. Seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) memiliki celah pita yang lebar, sehingga aktivitas fotokatalisisnya terbatas pada sinar dengan panjang gelombang yang berada di daerah ultraviolet. Hal ini mengakibatkan penggunaan jenis lampu sangat mempengaruhi hasil fotokatalisis. Penelitian yang telah dilakukan oleh Martin-Somer dkk. (2017) menunjukkan bahwa penggunaan lampu UV-LED memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan dengan penggunaan lampu merkuri dalam konsumsi energi yang sama. Lampu UV-LED juga tidak mengandung bahan kimia beracun seperti merkuri dan ukurannya kecil. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan studi kinetika seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) dalam penghilangan zat warna metilen biru di bawah penyinaran lampu UV-LED dalam berbagai konsentrasi metilen biru.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Seng oksida (ZnO) merupakan fotokatalis yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah dengan metode fotokatalisis. Pemilihan seng oksida (ZnO) sebagai agen fotokatalisis karena beberapa keuntungan yang dimilikinya, seperti ramah lingkungan, mudah diperoleh, dan murah. Namun, seng oksida (ZnO) memiliki celah pita yang lebar dan menyebabkan aktivitas fotokatalisisnya hanya terbatas pada daerah ultraviolet, sehingga penggunaan jenis lampu sangat mempengaruhi hasil fotokatalisis. Penelitian yang telah dilakukan oleh Martin-Somer dkk. (2017) menunjukkan bahwa penggunaan lampu UV-LED untuk pembentukan formaldehida memiliki efisiensi dan persen hasil lebih besar dibandingkan dengan penggunaan lampu merkuri dalam konsumsi energi yang sama. Oleh karena itu, pada penelitian ini, dilakukan studi kinetika ZnO dalam penghilangan warna metilen biru di bawah penyinaran UV-LED dengan konsentrasi metilen biru yang berbeda.

## **1.3 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kinetika yang terjadi selama proses fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida di bawah penyinaran lampu UV-LED.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan informasi ilmiah mengenai fotokatalis yang dapat digunakan untuk proses penghilangan zat warna metilen biru.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

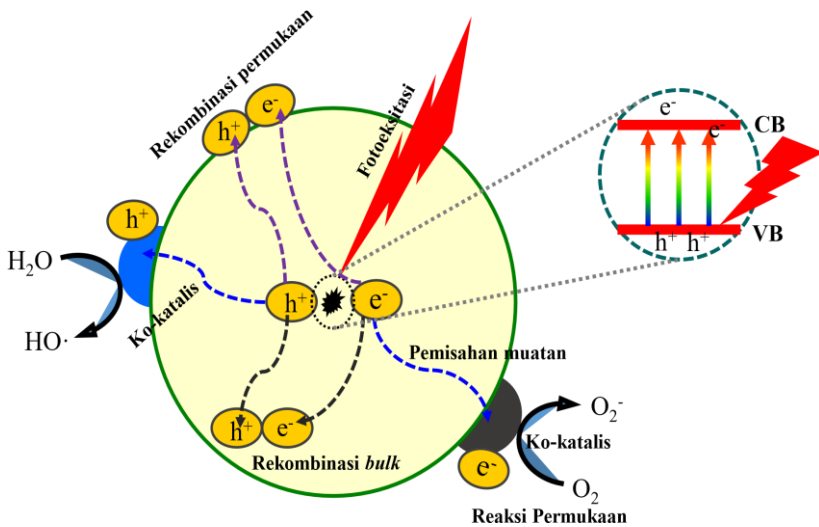
#### **2.1 Fotokatalisis**

Fotokatalisis adalah reaksi fotokimia dengan bantuan katalis. Fotokatalisis dapat digunakan untuk degradasi suatu senyawa yang melibatkan fotokatalis dan cahaya. Fotokatalis umumnya berupa semikonduktor yang mempunyai pita valensi yang penuh dan pita konduksi yang kosong. Fotokatalis akan menyediakan muatan yang terinduksi oleh cahaya untuk proses reaksi redoks, yang ditandai dengan terisinya pita konduksi dan kosongnya pita valensi (Tseng dkk., 2010). Fotokatalisis diklasifikasikan menjadi dua jenis, berdasarkan perbedaan fasa antara fotokatalis dan spesi yang akan dikatalisis, yaitu fotokatalisis homogen dan fotokatalisis heterogen (Rajeshwar dkk., 2008; Rehman dkk., 2009).

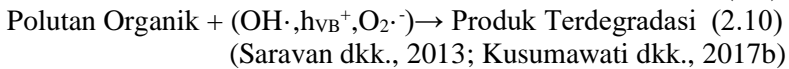
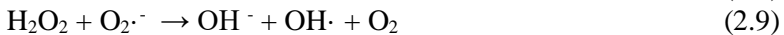
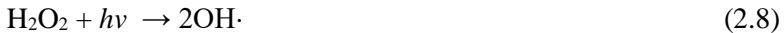
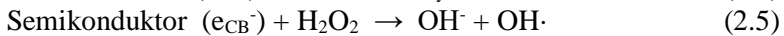
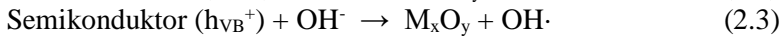
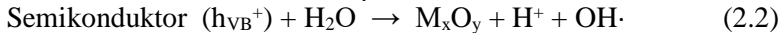
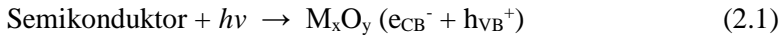
Fotokatalisis homogen memiliki kesamaan fasa antara fotokatalis dan spesi yang akan dikatalisis yang digunakan. Fotokatalisis homogen umumnya menggunakan kompleks logam sebagai katalis. Keadaan oksidasi tertinggi dari ion kompleks logam menghasilkan radikal hidroksi dibawah penyinaran. Radikal hidroksi tersebut selanjutnya akan bereaksi dengan material organik yang menyebabkan destruksi bahan beracun. Serupa dengan fotokatalisis homogen, fotokatalisis heterogen juga digunakan untuk mendegradasi polutan organik dalam pengolahan limbah, namun fasa fotokatalis dan spesi yang akan dikatalisis berbeda. Proses ini mempunyai keuntungan dibandingkan fotokatalisis homogen, yaitu melengkapi mineralisasi, tidak menimbulkan limbah sampingan, murah, dan dapat berkerja pada suhu serta tekanan rendah (Rehman dkk., 2009).

Mekanisme fotokatalisis biasanya tergantung pada panjang gelombang, energi foton, dan katalis. Secara umum, material semikonduktor digunakan sebagai sebuah katalis yang berfungsi sebagai sensitiser untuk iradiasi proses redoks karena struktur elektroniknya. Proses fotokatalisis pada semikonduktor diawali dengan proses fotoeksitasi (Ajmal dkk., 2014). Proses fotoeksitasi terjadi akibat cahaya (foton) sebesar  $h\nu$  yang

teradsorpsi pada permukaan selama penyinaran, sehingga elektron mengalami eksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Elektron yang tereksitasi tersebut mengalami difusi ke permukaan katalis dan mengambil bagian pada reaksi kimia dengan molekul pendonor dan akseptor. Proses eksitasi ini meninggalkan lubang pada pita valensi ( $h_{vb}^+$ ) (Hagen 2006). Lubang positif ( $h^+$ ) pada pita valensi (VB) bereaksi dengan air di permukaan semikonduktor untuk menghasilkan senyawa radikal hidroksil  $\cdot OH$  selama proses ionisasi air. Radikal ini akan bereaksi dengan molekul organik yang teradsorpsi atau senyawa lain yang bersifat tidak selektif dan dekat dengan permukaan katalis (Khan dkk., 2015). Elektron pada pita konduksi bereaksi dengan spesies oksigen terlarut membentuk anion superoksida (Sani dkk., 2009). Anion superoksida ini menempel pada produk intermediet di reaksi oksidasi, membentuk peroksida atau berubah menjadi hidrogen peroksida (Fujishima dkk., 2000). Ion hidroksi dan peroksida yang terbentuk memiliki pasangan elektron bebas sehingga memiliki kemampuan yang tinggi untuk degradasi polutan organik dan pemecahan air. Siklus ini akan terus berulang sampai reaksi selesai. Tahap reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :



**Gambar 2. 1** Mekanisme Fotokatalisis (Li, 2017)



Laju proses fotokatalis bergantung pada beberapa faktor yakni pH (Kazeminezhad dan Sadollahkani, 2016), suhu (Malato dkk., 2009), dosis katalis (Rajeshwar dkk., 2008), dan konsentrasi polutan. Fotokatalis juga sangat tergantung pada intensitas cahaya yang digunakan (Reza dkk., 2015). Oleh karena itu, penelitian mengenai fotokatalis terus dikembangkan dengan berbagai sumber cahaya yang memiliki panjang gelombang yang berbeda.

## 2.2 Penggunaan UV-LED dalam Fotokatalisis

*Light Emitting Diodes* (LEDs) telah dikomersialkan beberapa dekade dengan perkembangan teknologi terkini yang memungkinkan untuk memancarkan sinar UV dengan panjang gelombang yang sangat rendah (240 nm). LED menawarkan keunggulan potensial dibandingkan lampu UV konvensional seperti efisiensi yang lebih baik dalam mengubah listrik menjadi cahaya, kebutuhan daya lebih rendah, kekompakan dan kekokohan, tidak ada waktu pemanasan, tidak ada masalah disposal, dan potensi untuk masa pakai yang lama (Chen dkk., 2007; Wurtele dkk., 2011). Karena biaya yang sangat tinggi dan daya *output* yang rendah pada tahap pengembangan ini, sebagian besar UV-LED telah diuji untuk disinfektan (Bak dkk., 2010; Wurtele dkk. 2011) dan untuk fotokatalisis menggunakan sinar UV-A ( $\lambda > 365$  nm) (Chen dkk., 2007; Shie dkk., 2008; Tayade dkk., 2009).

Salah satu contoh penggunaan UV-LED dalam proses fotokatalisis telah dilakukan oleh Tayade dkk. (2009) untuk mendegradasi metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 5 lampu UV LED mampu mendegradasi 100% metilen biru ( $3,12 \times 10^{-5}$  M) selama 6 jam dengan dosis katalis optimum sebesar 1,2 g/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa UV-LED dapat menjadi sumber iradiasi alternatif yang baik untuk mendegradasi zat warna dan digunakan dalam geometri berbeda dari reaktor fotokatalisis, sehingga tidak membutuhkan pengaturan pendinginan. Pengembangan terus dilakukan untuk memperoleh efisiensi yang optimum dalam proses fotokatalisis di bawah penyinaran UV-LED, sehingga penggunaan semikonduktor juga harus diperhatikan selama proses fotokatalisis.

**Tabel 2. 1** Perbandingan Sifat Lampu UV-LED dengan Jenis Lampu UV Lainnya

	Lampu Tekanan Rendah	Lampu Tekanan Medium	<i>Light Emitting Diode</i>
Tipe Panjang Gelombang (nm)	Monokromatik 254	Polikromatik 200-500	Bentuk apapun 240
Efisiensi <i>wall plug</i> (%)	35-38	10-20	75
Masa Pakai (h)	8000-10000	4000-8000	100000
Input listrik (W)	8-100	100-60000	1
Suhu Operasi (°C)	40	600-900	20

(Ibrahim, 2012)

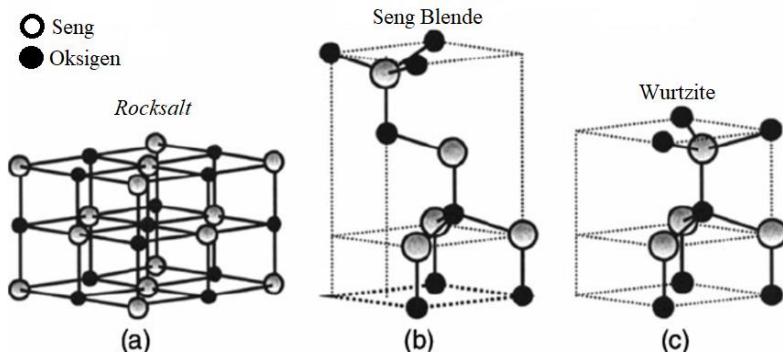
### 2.3 Semikonduktor Seng Oksida (ZnO)

Semikonduktor adalah bahan dengan pita valensi yang terisi penuh dan memiliki celah energi yang sempit, sehingga elektron cepat berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi yang kosong (Kittle, 1976). Beberapa semikonduktor dalam bentuk



nano dikembangkan sebagai material fotokatalis yang efektif untuk mendegradasi polutan organik (Sharma dkk., 2015; Wellia dkk., 2017; Zouzelka dkk., 2016). Salah satu semikonduktor yang dikembangkan yaitu seng oksida (ZnO) (Wellia dkk., 2017).

Seng Oksida (ZnO) adalah semikonduktor II-VI dengan celah pita yang lebar (3,37 eV), besar *excitation binding energy* sangat tinggi (60 meV), konstanta dielektrik tinggi, , relatif berlimpah, stabil, dan tidak beracun (Barve dkk., 2015). Seng oksida (ZnO) memiliki tiga bentuk kristal yaitu wurtzite (heksagonal), campuran seng (seng blende), dan garam batu (kubik) yang jarang diamati (Behera, 2012). Struktur Wurtzite paling umum digunakan karena stabil dalam suhu kamar dan tekanan atmosfer. Seng oksida (ZnO) telah banyak digunakan untuk elektronik transparan, emitor sinar ultraviolet, sensor kimia, transistor film tipis *invisible*, spin elektronik, dan fotokatalisis.



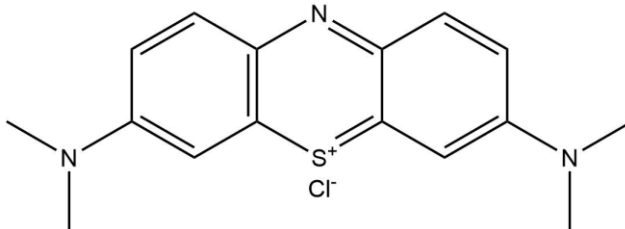
**Gambar 2. 2** Struktur Kristal Seng Oksida (ZnO)  
(Esiptia dkk., 2012)

Seng oksida (ZnO) dapat disintesis dengan metode presipitasi kimia (Chen dkk., 2008), hidrotermal atau solvotermal (Chen dkk., 2008), dan proses *polyol* (Hosni dkk., 2014; Kusumawati dkk., 2017a). Metode-metode tersebut memiliki beberapa keuntungan seperti penggunaan bahan yang sederhana, biaya rendah, luas permukaan besar, ramah lingkungan, dan tidak beracun. Suhu reaksi yang rendah membuat metode ini menarik

untuk mikroelektronik dan elektronik plastik (Erwin dkk., 2005; Kang dkk., 2012; Tok dkk., 2006; Xiangyang dkk., 2005).

Aplikasi seng oksida (ZnO) sebagai agen fotokatalis telah banyak digunakan untuk pemurnian air karena memiliki tingkat reaksi yang tinggi untuk detoksifikasi pencemaran dan aktivitas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub>. Mobilitas elektron tinggi seng oksida (ZnO) yang bervariasi (maksimum 2000 cm<sup>2</sup>/(V·s)) suhu pada 80 K. Informasi tentang mobilitas lubang ZnO langka dan nilai yang ditemukan kebanyakan berkisar dari 5 hingga 30 cm<sup>2</sup>/(V·s) (Behera, 2012). Oleh karena itu, penggunaan seng oksida (ZnO) untuk pengolahan limbah pewarna seperti metilen biru, metil oranye dan pewarna lainnya sangat memungkinkan.

## 2.4 Metilen Biru



**Gambar 2. 3** Struktur Metilen Biru (Sadhukhan dkk., 2016)

Metilen Biru adalah senyawa kimia aromatik heterosiklik dengan rumus molekul C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>ClN<sub>3</sub>S dengan nama kimia 3,7-bis(dimethylamino)-fenazathionium klorida tetramethylthionine chloride (Faber dkk., 2005). Senyawa ini pertama kali ditemukan oleh Heinrich Caro sebagai pewarna anilin pada tahun 1876. Metilen biru merupakan sebuah pewarna kationik yang berwarna biru pada keadaan oksidasi dan tidak berwarna pada bentuk reduksi (*leucomethylen blue*). Metilen biru dan *leucomethylen blue* merupakan pasangan redoks ketika kesetimbangan dan keduanya membentuk sistem reduksi-oksidasi yang *reversible* atau pasangan donor-akseptor elektron (Wiklund dkk., 2007). Metilen biru memiliki sifat larut dalam air, alkohol, dan klorofom dan satbil dalam udara (Lo dkk., 2014). Metilen biru memiliki berat molekul

319,86 g/mol, titik lebur di 105°C dengan kelarutan dalam air sebesar 43,6 g/L (Liu dkk., 2012).

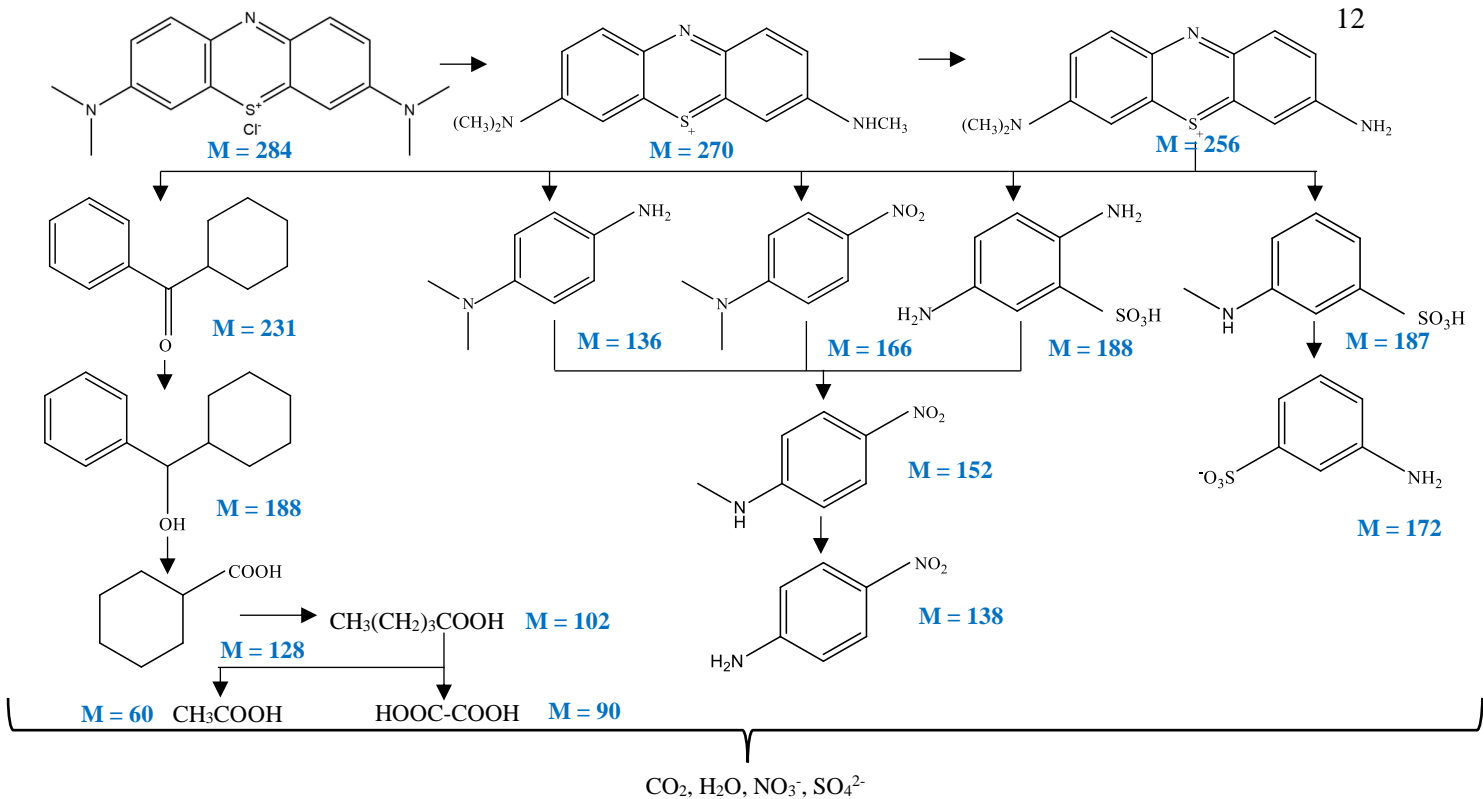
Karena harganya yang terjangkau, metilen biru banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti kimia, biologi, dan industri. Metilen biru digunakan sebagai fotosensitizer untuk pembangkit oksigen sinhlet, antioksidan, dan antiseptik dalam bidang biologi maupun kimia, sedangkan di bidang industri, metilen biru sering digunakan untuk pewarna serat pada wol, kulit, sutra, kertas, dan selulosa (Allen 1971; Ibrahim dkk., 2013). Metilen biru mempunyai indeks *basic blue* dan *solvent blue* sebesar 5% selama proses pewarnaan, sedangkan 95% sisanya dibuang sebagai limbah yang secara tidak langsung masuk ke dalam lingkungan dan menimbulkan efek seperti pada Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2. 2** Sifat fisika dan sifat kimia dari metilen biru

Dosis Metilen Blue (mg/kg)	Efek yang ditimbulkan
2-4	Anemia hemolitik, deskuamasi kulit pada bayi
7	Mual, muntah, sakit perut, nyeri pada dada, demam, dan hemolisis
7,5	Hiperpireksia dan kebingungan
20	Hipotensi
80	Sianosi

(Miculescu dan Wiklund, 2010)

Pengolahan limbah metilen biru telah diteliti oleh Lachheb dkk. (2002) dengan metode fotokatalisis dan semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi metilen biru menjadi CO<sub>2</sub> (g), H<sub>2</sub>O (l), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aq), dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq) setelah 120 menit penyinaran. Jia dkk. (2018) menunjukkan degradasi metilen biru dengan menggunakan semikonduktor TiO<sub>2</sub>/Bone Char menjadi CO<sub>2</sub> (g), H<sub>2</sub>O (l), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (aq), dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq) setelah 60 menit penyinaran *solar simulator* (OSRAM) dengan pH 12,4. Mekanisme degradasi metilen biru ditampikan pada Gambar 2.5



**Gambar 2. 4** Jalur Degradasi Metilen Biru (Jia dkk., 2018)

## 2.5 Kinetika Langmuir-Hinshelwood

Fotokatalisis heterogen dapat dianalisis dengan model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* yang mengikuti beberapa asumsi sebagai berikut:

- a. Ada batas sisi aktif adsorpsi pada permukaan katalis
- b. Permukaan katalis hanya dapat mengadsorpsi maksimum satu lapisan (*monolayer*) dengan masing-masing sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi satu molekul.
- c. Reaksi adsorpsi terjadi secara *reversible*
- d. Permukaan katalis bersifat homogen
- e. Tidak ada interaksi dengan molekul yang diadsorpsi

(Khezrianjoo dan Revanasiddappa, 2012)

Model *Langmuir-Hinshelwood* (LH) untuk menjelaskan kinetika dari proses katalisis heterogen ditunjukkan pada persamaan 2.1 (Li dkk., 2008).

$$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{k_r KC}{1 + KC} \quad (2.1)$$

dimana  $r$  adalah laju reaksi yang tergantung pada perubahan waktu. parameter  $k_r$  dan  $K$  yang merupakan fungsi  $C$

Banyak penelitian memperkirakan persamaan 2.1 ke kinetika orde satu untuk kondisi  $KC \ll 1$  (Gupta dkk., 2006; Li dkk., 2008; Petit dkk., 2016), namun beberapa penelitian mengikuti kinetika orde nol untuk  $KC \gg 1$ . Jika kondisi  $KC \ll 1$  digunakan, persamaan 2.1 juga dapat diturunkan seperti persamaan 2.2 (Kumar dkk., 2008).

$$r = k_r KC \quad (2.2)$$

Integrasi persamaan 2.2, model *Langmuir-Hinshelwood* diturunkan menjadi persamaan orde satu ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$\ln \frac{C_0}{C} = k_r K t \quad (2.3)$$

Jika  $KC_0 \gg 1$  diterapkan, penyebut pada persamaan 2.1 tidak mengalami perubahan, sehingga persamaan 2.1 tidak dapat diturunkan menjadi kinetika orde nol seperti yang disebutkan pada beberapa literatur (Hasnat dkk., 2007; Iliev dkk., 2006), sehingga perhitungan nilai  $k_r$  dan  $K$  sulit untuk dihitung.

Untuk menghitung nilai  $K$  dan  $k_r$  maka persamaan 2.1 dapat dilinierisasikan menjadi persamaan 2.4 berikut. (Li dkk., 2008).

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{k_r} + \frac{1}{k_r K} \left( \frac{1}{C} \right) \quad (2.4)$$

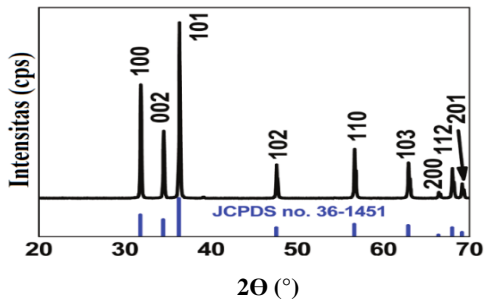
## 2.6 Karakterisasi

### 2.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan teknik karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui fasa kristalin, struktur kristal, dan ukuran partikel bahan seperti pada keramik, polimer, komposit, dan bahan lain (Cullity, 1956; Zhao dkk., 2016). Atkins dkk. (2010) menyatakan bahwa *X-Ray Diffraction* (XRD) dapat digunakan dalam identifikasi senyawa, penentuan kemurnian sampel, ukuran kristal, struktur *ab initio*, dan perubahan fasa. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dapat diketahui melalui pola difraksi unsur lain yang telah diketahui (Prevey, 2000). Pola difraksi yang diperoleh dari kristal tunggal digunakan dalam penentuan struktur (Atkins dkk., 2010).

*X-Ray Diffraction* (XRD) bekerja berdasarkan hukum *bragg* (Atkins dkk., 2010; Brandt, 2014). Proses adsorpsi dan hamburan (*scattering*) berkas sinar oleh atom dari bahan terjadi ketika berkas sinar-X monokromatik melalui bahan. Adanya keteraturan letak atom ke arah tertentu mengakibatkan beberapa gelombang hambur mengalami interferensi konstruktif (penguatan), sedangkan lainnya mengalami interferensi deskruktif (penghilangan). Berkas difraksi sinar-X yang mengalami konstruktif digunakan pada *X-Ray Diffraction* (XRD). Sinar yang

dipantulkan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi.



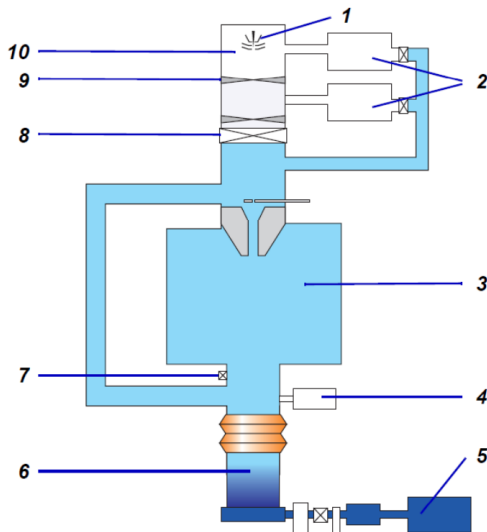
**Gambar 2.5** Difraktogram Seng Oksida (ZnO) (Guo dkk., 2015)

Puncak-puncak difraksi hasil pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material, yang disebut dengan *International Center for Diffraction Data/ICDD* (Mikrajuddin dan Khairurrijal, 2009). Hasil difraktogram senyawa seng oksida (ZnO) yang dibandingkan dengan standar ZnO PDF 36-1451 ditampilkan pada Gambar 2.5. Difraktogram senyawa seng oksida (ZnO) memiliki kesesuaian dengan difraktogram data JCPDS no. 36-1451. Hal tersebut menunjukkan bahwa senyawa seng oksida memiliki struktur kristal heksagonal.

### 2.6.2 *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM)

*Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM) adalah mikroskop elektron yang menggambarkan morfologi permukaan melalui gambaran pembesaran dari berbagai jenis material menggunakan sinar elektron energi rendah. FESEM memungkinkan untuk mengamati sampel yang rapuh dan titik leleh yang rendah seperti krim, yang tidak mungkin dilakukan oleh standar *Scanning Electron Microscope* (SEM). Perbedaan topografi permukaan dan komposisi elemen yang berbeda dapat diketahui dari kontras warna yang terdeteksi. FESEM terdiri atas beberapa komponen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.

FESEM bekerja dengan menembakkan sinar elektron berenergi tinggi ke arah sampel. Elektron yang dipantulkan akan menghasilkan beberapa jenis sinyal diantaranya *Secondary Electron (SE)*, *back-scattered electron (BSE)*, dan sinar X. Elektron - elektron BSE dan SE dikumpulkan oleh *scintillator* yang dapat menghasilkan berkas cahaya (Anggraeni, 2008). Berkas cahaya tersebut diubah menjadi sinyal listrik yang diperbesar dengan pembangkit cahaya kemudian diteruskan ke bagian kisi tabung sinar katoda sehingga dapat menggambarkan kondisi permukaan material pada monitor komputer (Anggraeni, 2008). *Secondary Electron (SE)* digunakan untuk mengamati topologi dan morfologi sampel, sementara sinar X digunakan untuk mengetahui komposisi dari sampel yang diuji (Smith dan Oatley, 1995).



**Gambar 2. 6** Skema komponen FESEM (Zeiss, 2011)

Keterangan :

1. Pistol dengan filamen
2. Pompa pengambil ion
3. Ruang spesimen
4. Pengukur

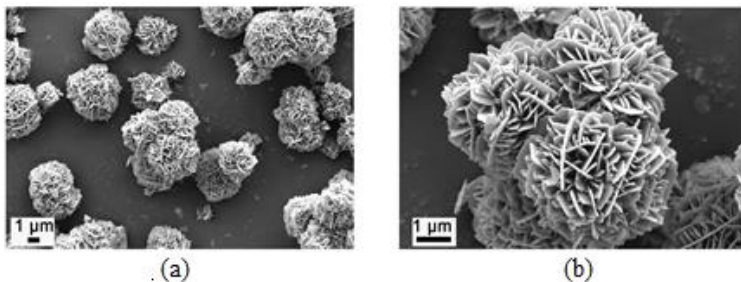


5. Pompa pra vakum
6. Pompa turbo
7. Katub ventilasi
8. Katub ruang kolom
9. *Multi-hole aperture*

Perbedaan karakterisasi menggunakan instrumen *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah sebagai berikut:

- a. Resolusi FESEM lebih tinggi dibandingkan dengan SEM, sehingga dapat memberikan perbesaran gambar yang lebih tinggi
- b. Resolusi FESEM pada tegangan berkecepatan rendah lebih baik dan cocok digunakan pada mikroskop bertegangan rendah.
- c. Tipe *emitter* yang digunakan pada SEM berupa *thermionic*, sedangkan FESEM menggunakan *field emitter*.

Contoh mikrograf SEM dari ZnO ditunjukkan pada Gambar 2.7. Morfologi bentuk ZnO yang disintesis dengan metode hidrotermal menghasilkan bentuk *sphere* dengan ukuran sekitar 3  $\mu\text{m}$  dan ketebalan sebesar 20  $\mu\text{m}$ .



**Gambar 2.7** Morfologi Seng Oksida (ZnO) (Xu dkk., 2016)

### 2.6.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

Adsorpsi-desorpsi nitrogen digunakan untuk penentuan luas permukaan dan distribusi ukuran pori suatu material padatan (Haber dkk., 1995). Prinsip dari metode ini adalah adsorpsi fisik (fisisorpsi) molekul inert (nitrogen) pada permukaan padatan pada tekanan tertentu dan suhu yang konstan. Luas permukaan suatu

material dapat ditentukan menggunakan persamaan *Brunauer Emmet-Teller* (BET) dengan beberapa asumsi, yakni:

1. Padatan memiliki permukaan yang homogen
2. Interaksi antar molekul yang teradsorpsi diabaikan
3. Kecepatan adsorpsi dan desorpsi adalah sama pada setiap lapisan
4. Proses kinetik bersifat homogen (setiap lapisan molekul membutuhkan energi yang sama untuk adsorpsi)
5. Terjadi adsorpsi *multi-layer* bahkan pada tekanan yang sangat rendah.

(Brame dan Griggs, 2016)

Luas permukaan spesifik padatan menurut persamaan BET dinyatakan sebagai persamaan 2.5.

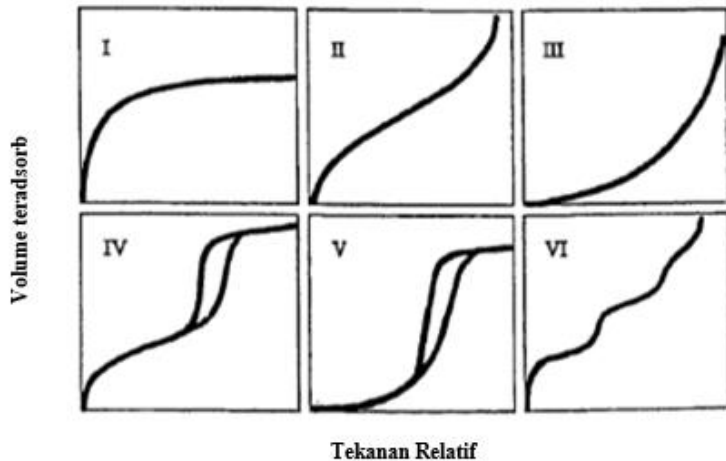
$$\frac{P}{V(P_0-P)} = \frac{1}{V_m \times C} + \frac{(C-1)}{V_m \times C} \times \frac{P}{P_0} \quad (2.5)$$

dimana  $V$  adalah volume adsorbat yang teradsorpsi pada tekanan  $P$  dan suhu absolut  $T$  ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ),  $V_m$  adalah volume adsorbat yang membentuk *monolayer* ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ),  $P$  adalah tekanan adsorbat saat setimbang (atm),  $P_0$  adalah tekanan adsorbat jenuh (atm) dan  $C$  adalah konstanta tetapan BET pada *monolayer*. Penentuan luas permukaan dapat ditentukan dengan mengkalikan  $\frac{P}{P_0}$  sebagai

sumbu x terhadap  $\frac{P}{V(P_0-P)}$  sebagai sumbu y sehingga didapatkan

intersep  $\frac{1}{V_m \times C}$  dan gradien  $\frac{(C-1)}{V_m \times C}$ . Nilai intersep dan gradien yang diperoleh diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai  $C$  dan  $V_m$ . Luas permukaan katalis dapat dihitung dengan menghitung luas *cross section* molekul ( $A_m$ ) dengan persamaan 2.6.

$$S_{\text{BET}} = \frac{V_m \times A_m \times 6,022 \times 10^{23}}{V_{T,P}} \quad (2.6)$$



**Gambar 2. 8** Tipe grafik adsorpsi-desorpsi berdasarkan IUPAC (Al-Othman, 2012)

Plot grafik dari persamaan BET ini memiliki enam tipe grafik adsorpsi-desorpsi menurut IUPAC yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Al-Othman, 2012). Tipe-tipe grafik tersebut diantaranya adalah:

1. Tipe I

Grafik tipe I merupakan Langmuir isotherm yang umum ditemukan pada material mikropori. Peningkatan tajam jumlah zat teradsorpsi pada tekanan relatif rendah menunjukkan bahwa mikropori yang tersedia telah terisi.

2. Tipe II

Tipe ini terlihat pada adsorpsi pada padatan non pori. Adsorpsi multi-layer dapat terjadi pada kisaran tekanan relatif tengah.

3. Tipe III

Kondisi yang terjadi pada tipe ini adalah interaksi adsorben-adsorben yang lemah.

4. Tipe IV

Kondisi pada grafik tipe IV hampir sama dengan grafik tipe II, namun pada tipe ini menyiratkan terjadinya kondensasi kapiler dalam mesopori, karena kekuatan adsorbat-adsorben dan interaksi adsorbat-adsorbat

#### 5. Tipe V

Tipe ini memiliki kondisi yang serupa dengan tipe III, namun pada tipe ini terlihat adanya loop histerisis yang juga disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori pada tekanan tinggi.

#### 6. Tipe VI

Tipe IV menunjukkan hubungan dengan adsorpsi lapis demi lapis pada permukaan yang seragam.

Grafik adsorpsi isothermal pada material berpori ini memiliki loop histeresis berbeda-beda yang disebabkan oleh jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan jumlah gas yang teradsorpsi di awal sehingga bersifat khas antar material satu dengan yang lainnya.

### 2.6.4 Spektrofotometri UV-VIS

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik analisis yang memakai sumber REM (radiasi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm). Prinsip kerja dari spektrofotometer UV-Vis adalah mengukur banyaknya energi yang dihasilkan oleh elektron saat kembali ke keadaan semula setelah tereksitasi. Sumber cahaya memancarkan sinar polikromatik, yang kemudian diubah menjadi sinar monokromatik oleh monokromator. Warna yang memiliki energi yang setara dengan energi minimum elektron untuk tereksitasi akan diserap oleh sampel *reference* dan uji. Elektron yang tereksitasi semakin lama semakin kehilangan energi hingga pada akhirnya kembali ke keadaan dasar (*ground state*) yang lebih stabil daripada keadaan tereksitasi. Energi yang dilepaskan elektron saat tereksitasi memiliki jumlah yang sama dengan energi yang diterimanya. Energi ini selanjutnya diterjemah oleh detektor menjadi panjang gelombang warna komplementernya (Harisman dan Sugiarso, 2014).

Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Konsentrasi dari analit dalam larutan ditentukan dengan mengukur absorbansi pada

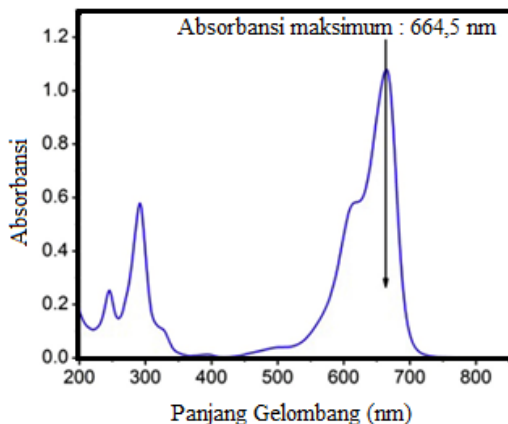
panjang gelombang tertentu dengan hukum Lambert-Beer (Prabakhar, 2002). Hukum Lambert-Beer disajikan pada persamaan 2.7.

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = \epsilon \times c \times l \quad (2.7)$$

Keterangan :

- A = Absorbansi
- $I_0$  = Intensitas sinar datang
- I = Intensitas sinar yang dihamburkan
- $\epsilon$  = Konstanta absosptivitas molar
- c = Konsentrasi sampel
- l = Lebar kuvet

Spektra UV-Vis senyawa metilen biru 10 ppm ditampilkan pada Gambar 2.9. Spektra UV-Vis tersebut menunjukkan bahwa metilen biru memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang 664,5 nm.



**Gambar 2.9** Hasil spektra UV-Vis metilen biru (Zou dkk., 2016)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia, erlenmeyer, pipet ukur, pengaduk kaca, botol timbang, corong kaca, pipet tetes, kaca arloji, labu ukur, *hot plate*, *magnetic stirrer*, bola hisap, botol semprot, neraca analitik, termometer (Silber Brand Germany), reaktor fotokatalisis, lampu UV-LED (EPILEDS, 3 Watt,  $\lambda = 365$  nm), oven (BINDER Germany), *stopwatch*, *sentrifuge*, *muffle furnace*, *crucible*, pH indikator, dan beberapa instrumen untuk karakterisasi material hasil sintesis yang meliputi *X-Ray Diffractometer (X'Pert PRO)*, *Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (Flexsem 1000 Hitachi), adsorpsi gas N<sub>2</sub> (Quantachrome Nova), dan instrumen Spektrofotometer UV-Vis (Genecsis 10S UV-Vis).

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seng Asetat Dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Merck), Natrium Hidroksida (NaOH, Merck Millipore), Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, Merck Millipore, 99,5%), Akua DM, Metilen Biru (C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>ClN<sub>3</sub>S, Merck Millipore).

### **3.2 Sintesis Seng Oksida (ZnO)**

Sintesis seng oksida dilakukan dengan metode presipitasi yang mengikuti penelitian dari Zhang dkk. (2016). Sebanyak 2,195 gram seng asetat dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dilarutkan dalam 50 mL akua dm. Larutan seng asetat selanjutnya dipanaskan hingga mencapai suhu 65 °C. Setelah mencapai suhu 65 °C, ditetaskan larutan NaOH 0,1 M hingga pH larutan 13 dengan pengadukan konstan. Pengadukan dan pemanasan tetap dilakukan selama 30 menit setelah larutan memiliki pH 13. Hasil yang diperoleh didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam.

Endapan dan filtrat dipisahkan dengan metode dekantasi. Endapan yang terpisah kemudian dicuci dengan akua dm sebanyak

50 mL pada kondisi pengadukan dan pemanasan (65 °C) selama 30 menit, dan selanjutnya dидiamkan pada suhu ruang selama 24 jam. Endapan diambil dengan metode *sentrifuge* (2000 rpm) selama 30 menit. Endapan yang telah terpisah dicuci kembali menggunakan etanol. Endapan yang telah dicuci dikeringkan pada suhu 60 °C selama 12 jam. Endapan kering selanjutnya dikalsinasi selama dua jam pada suhu 400 °C.

### **3.3 Karakterisasi**

#### **3.3.1 Karakterisasi Struktur Kristal dengan X-Ray Diffraction (XRD)**

Seng oksida hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan kristalinitas dari seng oksida. Seng oksida hasil sintesis diletakkan pada *sample holder* yang telah disediakan. Pengambilan data dengan instrumen XRD digunakan sumber radiasi Cu K $\alpha$  (1,54Å) dan pengukuran sudut dari 2 $\theta$  pada 5-90 ° dengan interval scan 0,017°. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Hasil karakterisasi yang diperoleh selanjutnya dicocokkan dengan *database* pada JCPDS-*Internal Centre of Diffraction Data* PCPDFWIN tahun 2001.

#### **3.3.2 Karakterisasi Morfologi Permukaan dan dengan Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)**

Seng Oksida hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *Field Emission Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (FESEM-EDX) di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2F LIPI) Serpong. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan sebaran unsur dari seng oksida. Preparasi sampel dilakukan dengan meletakkan sedikit sampel pada permukaan. Kemudian dilakukan proses *coating* (dilapisi) berupa Au-Pd (emas-paladium) untuk membuat permukaan sampel menjadi konduktif. Selanjutnya sampel yang telah *dicoating* di masukkan ke dalam *sample chamber* untuk dideteksi oleh detektor SEM.



### 3.3.3 Pengukuran Luas Permukaan Spesifik ( $S_{BET}$ ) dan Volume Pori

Pengukuran luas permukaan spesifik ( $S_{BET}$ ) dan volume pori serta analisis distribusi pori padatan seng oksida hasil sintesis dilakukan dengan metode adsorpsi-desorpsi gas  $N_2$  pada suhu 77K dalam keadaan vakum. Sebelum pengukuran luas permukaan spesifik dan volume pori, dilakukan proses *degassing* dengan  $N_2$  pada suhu 300 °C selama 3 jam untuk menghilangkan gas-gas yang teradsorpsi oleh sampel. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan program *Quantachrome Nova*.

### 3.4 Uji Aktivitas Seng Oksida terhadap Penghilangan Zat Warna Metilen Biru dibawah Penyinaran Lampu UV-LED

Uji aktivitas seng oksida terhadap penghilangan zat warna metilen biru dibawah penyinaran lampu UV-LED dilakukan dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Konsentrasi metilen biru yang digunakan adalah 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, dan 20 mg/L. Sebagai pembanding, dilakukan proses penghilangan zat warna metilen biru dengan seng oksida tanpa penyinaran dengan variasi waktu dan konsentrasi metilen biru yang sama.

Sebanyak 0,02 gram seng oksida hasil sintesis ditambahkan ke dalam 25 mL larutan metilen biru, dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama variasi waktu yang telah dibuat. Filtrat hasil pengujian dipisahkan dengan *sentrifuge* dan dianalisis kuantitatif dengan spektrofotometer UV-Vis untuk melihat metilen biru yang tersisa dalam larutan.

Analisis kinetika reaksi fotokatalisis ditentukan dengan model kinetika model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* (L-H) melalui *plotting* grafik  $(1/r_0)$  terhadap  $(1/C_0)$  pada konsentrasi yang berbeda:

$$\frac{1}{r_0} = \frac{1}{k_r} + \frac{1}{k_r K} \left( \frac{1}{C_0} \right) \quad (3.1)$$

dimana  $C_0$  merupakan konsentrasi mula-mula metilen biru (mg/L),  $r_0$  merupakan laju reaksi fotokatalitik dan  $k_r$  serta  $K$  adalah

konstanta reaksi fotokatalisis dan konstanta Langmuir-Hinshelwood.



(a)

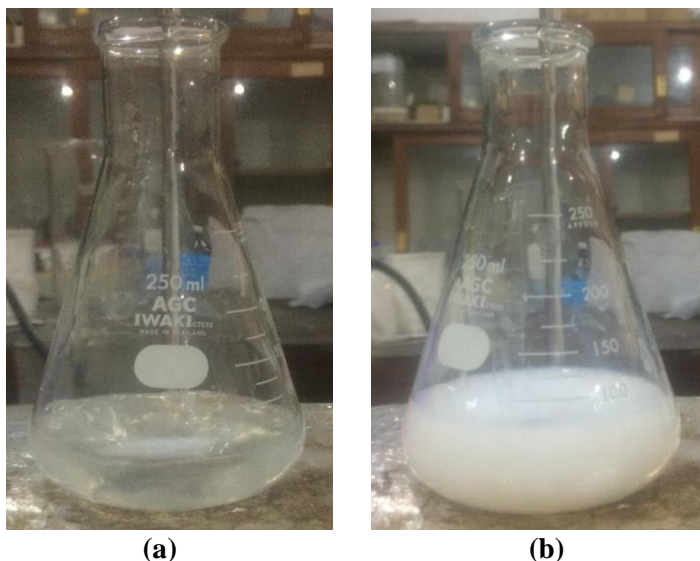
(b)

**Gambar 3. 1** (a) Reaktor Fotokatalisis (b) lampu UV-LED

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

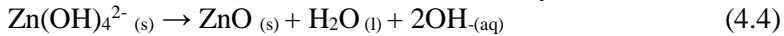
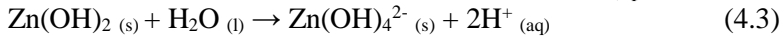
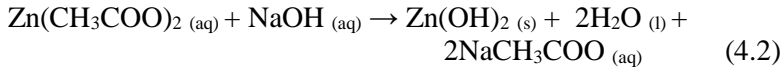
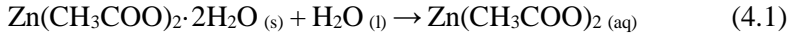
### 4.1 Hasil Sintesis Seng Oksida (ZnO)

Sintesis seng oksida dilakukan dengan metode kopresipitasi untuk memperoleh partikel berukuran nano. Seng asetat dihidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) digunakan sebagai sumber ion  $\text{Zn}^{2+}$ , sedangkan NaOH digunakan sebagai agen pengendap. Penjenuhan larutan seng asetat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) bertujuan untuk mempercepat tercapainya pembentukan endapan ketika penambahan NaOH ke dalam larutan tersebut. Penambahan NaOH menyebabkan larutan seng asetat berubah menjadi keruh hingga terbentuk suspensi berwarna putih susu (*milky suspension*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di bawah. Hal tersebut terjadi karena pembentukan endapan akibat larutan yang lewat jenuh.



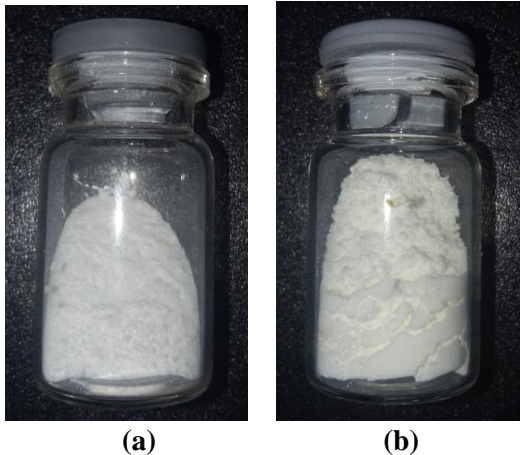
**Gambar 4. 1** Perubahan selama proses sintesis seng oksida (ZnO)  
(a) sebelum ditetesi NaOH (b) sesudah ditetesi NaOH

Persamaan reaksi 4.1 - 4.4 dibawah ini menunjukkan proses reaksi yang terjadi selama pencampuran kedua larutan tersebut.



(Wahab dkk., 2009)

Pencucian endapan dilakukan dengan akua dm dan etanol untuk menarik ion sisa yang memiliki tingkat kepolaran yang berbeda. Pengeringan dilakukan untuk menguapkan pelarut yang terperangkap di dalam endapan. Seng oksida (ZnO) yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C untuk mendekomposisi pengotor dan senyawa organik lainnya.

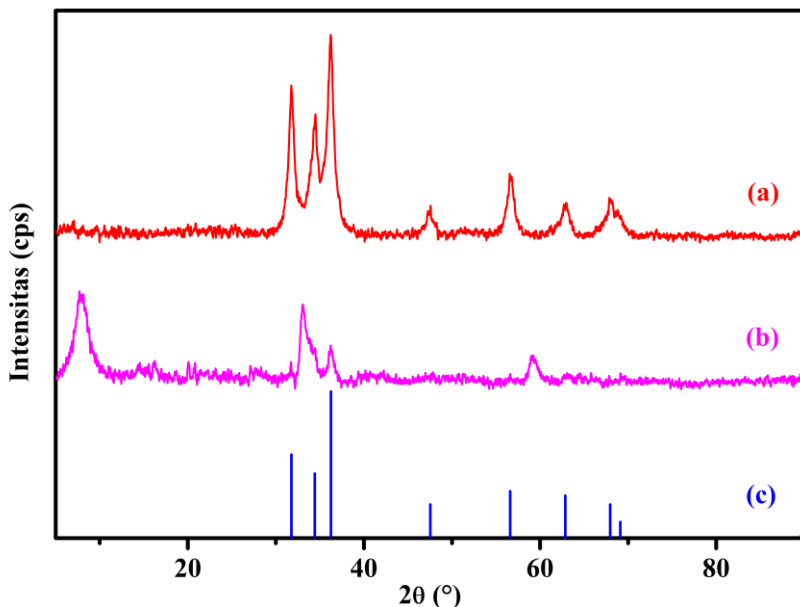


**Gambar 4. 2** Seng oksida (ZnO) hasil sintesis (a) sebelum kalsinasi (b) setelah kalsinasi pada suhu 400°C

## 4.2 Hasil Karakterisasi Seng Oksida (ZnO)

### 4.2.1 Hasil X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari seng oksida (ZnO) yang telah disintesis. Difraktogram yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.2 yang meliputi seng oksida (ZnO) sebelum dan sesudah kalsinasi pada suhu 400°C. Difraktogram tersebut selanjutnya dicocokkan dengan difraktogram seng oksida (ZnO) no 36-1451 yang memiliki puncak karakteristik yang khas pada  $2\theta = 31,770^\circ$ ,  $34,422^\circ$ , dan  $36,253^\circ$  dari *Database JCPDS International Center of Diffraction Data* tahun 2001 dengan program PCPDFWIN.

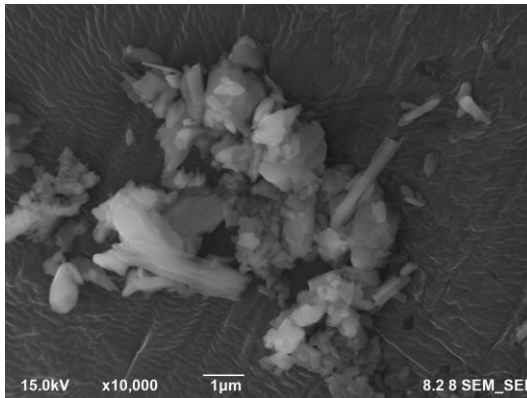


**Gambar 4. 3** Difraktogram dari seng oksida (ZnO) (a) sesudah kalsinasi, (b) sebelum kalsinasi, (c) JCPDF 36-1451

Intensitas puncak-puncak yang dihasilkan dari seng oksida (ZnO) sebelum dan sesudah kalsinasi sesuai dengan standar puncak-puncak difraktogram seng oksida (ZnO) no 36-1451 yang

mempunyai struktur heksagonal. Kenaikan intensitas yang lebih tinggi dan tajam dari seng oksida (ZnO) setelah kalsinasi dibandingkan dengan seng oksida (ZnO) sebelum kalsinasi pada difraktogram tersebut, mengindikasikan bahwa susunan sel seng oksida (ZnO) semakin teratur akibat peningkatan suhu (Liu dkk., 2012). Difraktogram puncak pada  $2\theta = 7,699^\circ$  dan  $59,119^\circ$  untuk pola difraksi seng oksida (ZnO) sebelum kalsinasi menghilang setelah proses kalsinasi yang mengindikasikan telah terjadi dekomposisi  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  menjadi seng oksida (ZnO) akibat peningkatan suhu. Hal ini didasarkan dari JCPDS No. 89-0138 yang menunjukkan adanya puncak  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  pada  $2\theta$  tersebut.

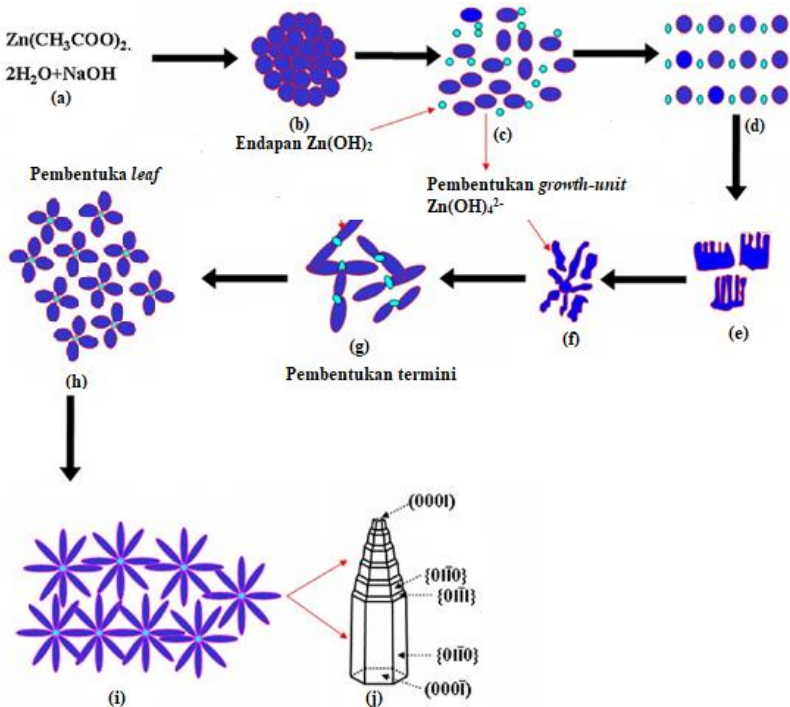
#### 4.2.2 Hasil Karakterisasi *Field Emission Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (FESEM-EDX)



**Gambar 4. 4** Mikrograf FESEM dari Seng Oksida (ZnO)

Analisis *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FESEM) digunakan untuk mengetahui sifat tekstur, morfologi, ukuran, bentuk, dan susunan partikel sampel yang dianalisis. Gambar 4.4 menunjukkan mikrograf FESEM dari sampel seng oksida (ZnO). Mikrograf seng oksida yang dihasilkan mengindikasikan bahwa seng oksida (ZnO) hasil sintesis memiliki

morfologi heksagonal yang sesuai dengan hasil karakterisasi *x-ray diffraction* pada Gambar 4.3. Ukuran partikel seng oksida yang terbentuk sebesar 0,125  $\mu\text{m}$  hingga 3  $\mu\text{m}$  Namun, beberapa morfologi seng oksida yang terbentuk kurang sempurna. Hal ini dapat dijelaskan pada mekanisme pertumbuhan pada Gambar 4.5.



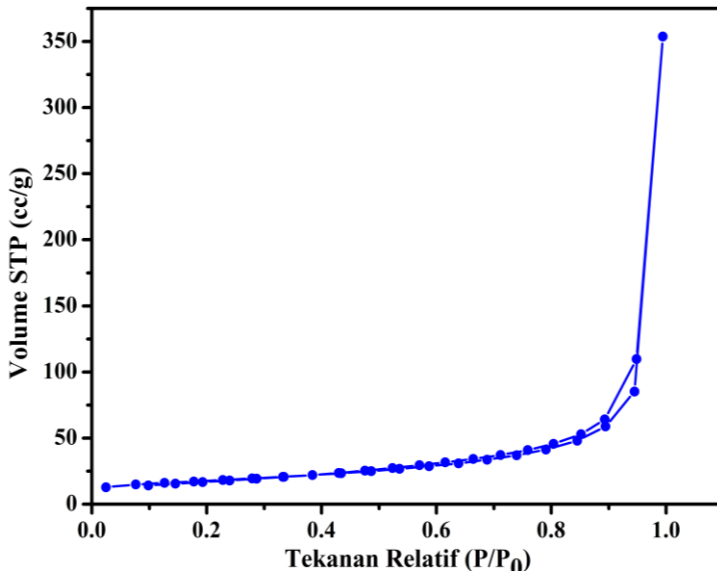
**Gambar 4.5** Skema mekanisme pertumbuhan seng oksida (ZnO) (Wahab dkk., 2009)

Berdasarkan mikroskop seng oksida (ZnO) yang ditampilkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa morfologi struktur masih berupa campuran dari Gambar 4.5 e hingga Gambar 4.5 i pada skema mekanisme pertumbuhan oleh Wahab dkk.

(2009). Hal ini diakibatkan selama proses pencampuran antara larutan seng asetat dan larutan NaOH kurang homogen, sehingga pertumbuhan kristal seng oksida yang terbentuk juga tidak homogen.

#### 4.2.3 Hasil Penentuan Luas Permukaan dan Volume Pori

Pengukuran luas permukaan dan volume pori dari seng oksida (ZnO) hasil sintesis dilakukan dengan metode adsorpsi-desorpsi nitrogen yang sesuai dengan teori BET (Brunauer–Emmett–Teller), sedangkan pengukuran volume pori seng oksida (ZnO) dilakukan dengan metode BJH (Barreot-Joiner-Halenda). Kurva hasil adsorpsi-desorpsi nitrogen seng oksida (ZnO) ditampilkan pada Gambar 4.6, sementara data volume pori dari seng oksida (ZnO) ditampilkan pada Tabel 4.1.



**Gambar 4. 6** Kurva isothermal adsorpsi-desorpsi nitrogen dari seng oksida (ZnO)



Gambar 4.6 menunjukkan bahwa seng oksida (ZnO) mengikuti kurva isothermal tipe III, dimana seng oksida (ZnO) mengalami adsorpsi *multilayer* yang diakibatkan interaksi adsorben yang lemah.

**Tabel 4. 1** Pengukuran luas permukaan dan volume pori dari seng oksida (ZnO)

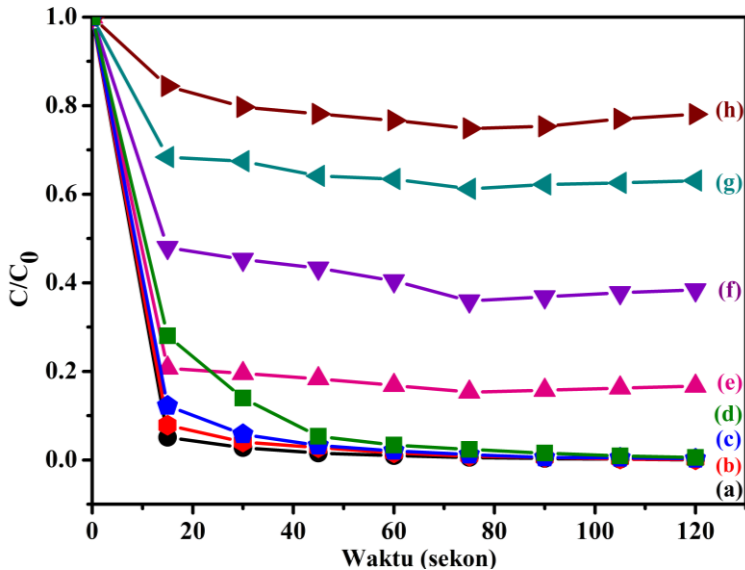
$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume Pori ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )			Diameter pori rata- rata (nm)
	$V_{\text{mikro}}$	$V_{\text{meso}}$	$V_{\text{total}}$	
60,20	0,02	0,54	0,55	17,73

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran luas permukaan BET dari seng oksida sebesar  $60,20 \text{ m}^2/\text{g}$ . Selain itu, pengukuran volume pori juga ditampilkan pada Tabel 4.1, dimana volume pori meso yang dihasilkan sebesar  $0,54 \text{ cm}^3/\text{g}$ , sedangkan volume mikro yang dihasilkan sebesar  $0,02 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Volume meso yang dihasilkan selama proses adsorpsi-desorpsi nitrogen bukan merupakan mesopori dari suatu material, melainkan berasal dari pori yang terbentuk diantara butiran seng oksida (ZnO). Hal ini menyebabkan diameter pori rata-rata yang dihasilkan seng oksida sebesar  $17,73 \text{ nm}$ .

### 4.3 Aktivitas Fotokatalisis Seng Oksida (ZnO) terhadap Penghilangan (*Removal*) Zat Warna Metilen Biru di bawah Penyinaran Lampu UV-LED

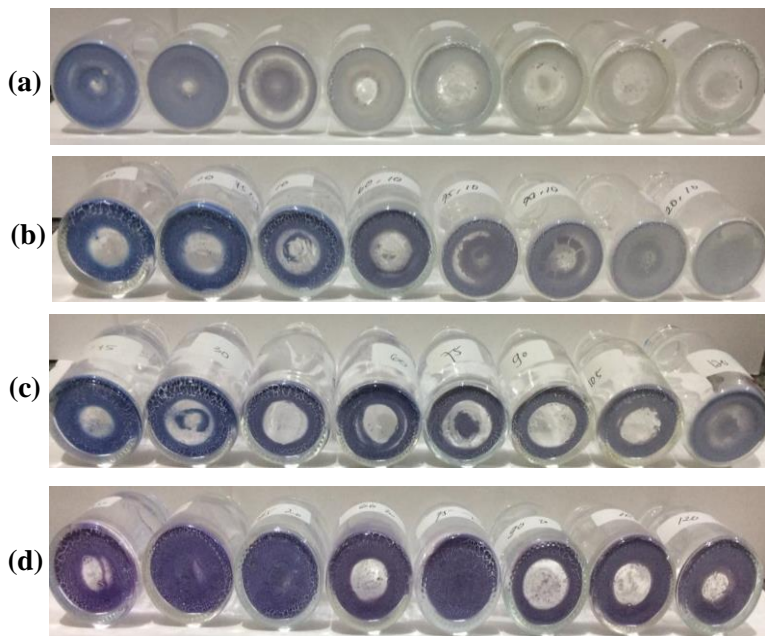
Aktivitas fotokatalisis dari seng oksida (ZnO) yang telah disiapkan untuk penghilangan zat warna metilen biru diselidiki dengan melakukan sejumlah percobaan di bawah penyinaran lampu UV-LED dan tanpa penyinaran lampu UV-LED sebagai pembanding. Penghilangan metilen biru oleh seng oksida dilakukan dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit pada konsentrasi metilen biru  $5 \text{ mg/L}$ ,  $10 \text{ mg/L}$ ,  $15 \text{ mg/L}$ , dan  $20 \text{ mg/L}$ .

Tingkat penghilangan zat warna metilen biru oleh seng oksida pada konsentrasi metilen biru yang berbeda (5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L dan 20 mg/L) ditampilkan pada Gambar 4.6. Proses reaksi fotokatalisis metilen biru dengan konsentrasi metilen biru yang berbeda optimum pada waktu reaksi 75 menit dengan pengurangan zat warna metilen biru sebesar 94,89% (5 mg/L), 92,15% (10 mg/L), 87,80% (15 mg/L), dan 72,00% (20 mg/L). Proses adsorpsi optimum pada 15 menit dengan pengurangan zat warna metilen biru sebesar 79,29% (5 mg/L), 52,03% (10 mg/L), 31,62% (15 mg/L), dan 15,56% (20 mg/L).



**Gambar 4. 7** Tingkat penghilangan zat warna metilen biru dengan seng oksida; (a)-(d) Fotokatalisis metilen biru (e)-(h) Adsorpsi metilen biru dengan konsentrasi (a dan e) 5 mg/L (b dan f) 10 mg/L (c dan g) 15 mg/L (d dan h) 20 mg/L

Seng oksida menunjukkan perubahan warna dari putih-biru-ungu-putih selama proses reaksi fotokatalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Seng oksida kembali putih setelah 60 menit untuk konsentrasi metilen biru 5 mg/L, 105 menit untuk metilen biru 10 mg/L, 120 menit untuk metilen biru 15 mg/L dan untuk konsentrasi metilen biru 20 mg/L telah diselidiki terjadi setelah 150 menit. Hal ini menunjukkan bahwa zat warna metilen biru yang teradsorpsi dalam pori seng oksida juga mengalami degradasi, sehingga warna seng oksida kembali seperti semula.



**Gambar 4. 8** Perubahan warna padatan seng oksida selama proses fotokatalisis untuk konsentrasi metilen biru (a) 5 mg/L (b) 10 mg/L (c) 15 mg/L (d) 20 mg/L (Kiri-Kanan: 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 dan 120 menit)

#### 4.4 Studi Kinetika Fotokatalisis Metilen Biru oleh Seng Oksida

Penentuan orde reaksi dilakukan dengan menggunakan hukum laju reaksi orde nol dan orde satu untuk menyesuaikan model kinetika *Langmuir-Hinshelwood*. Persamaan yang digunakan mengikuti persamaan 4.1

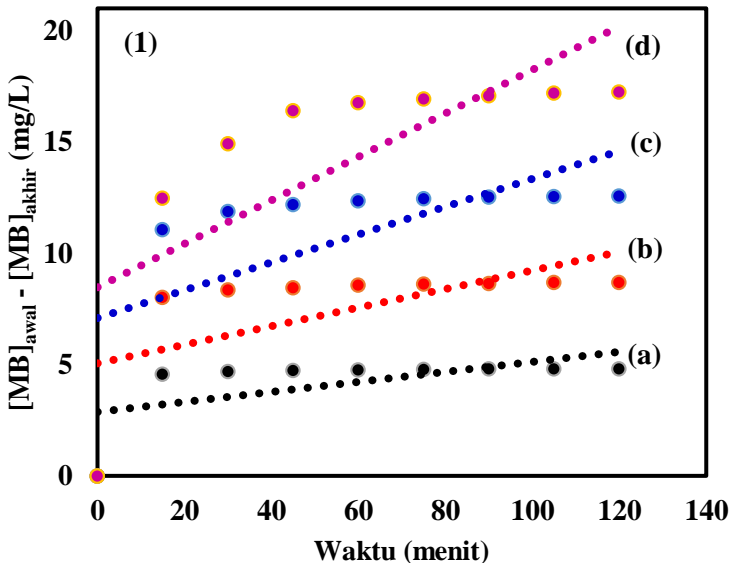
$$r = - \frac{dC}{dt} \quad (4.1)$$

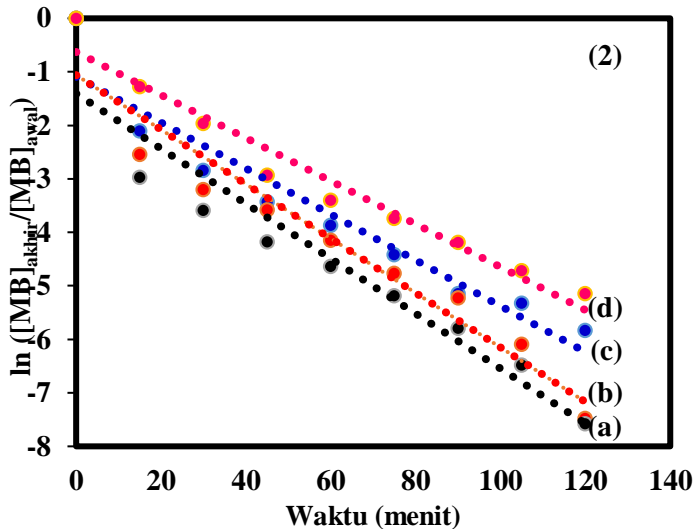
Persamaan 4.1 tersebut diturunkan menjadi persamaan 4.2 dan persamaan 4.3 berikut.

$$C_0 - C = kt \quad (4.2)$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt \quad (4.3)$$

persamaan 4.2 dan persamaan 4.3 dianalisis dengan plot grafik dimana sumbu x adalah waktu (t) dan sumbu y adalah  $(C_0 - C)$  untuk orde nol, sedangkan untuk orde satu, sumbu x adalah waktu dan sumbu y adalah  $\ln \frac{C}{C_0}$ . Grafik yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 4.9 berikut.





**Gambar 4. 9** Kinetika laju reaksi (1) orde nol (2) orde satu dari fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida (ZnO) dibawah penyinaran UV-LED dengan konsentrasi metilen biru (a) 5 mg/L (b) 10 mg/L (c)15 mg/L (d) 20 mg/L

**Tabel 4. 2** Perbandingan koefisien korelasi hukum laju reaksi orde nol dan orde satu

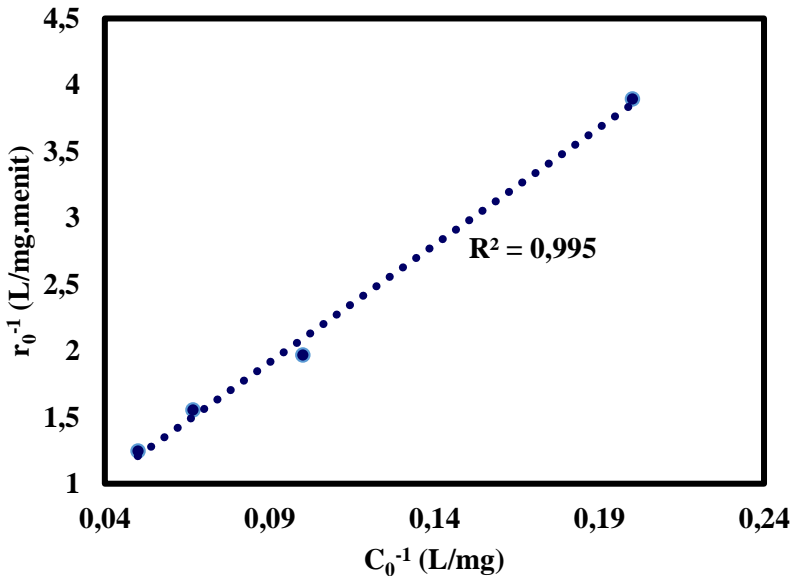
Konsentrasi Metilen Biru	Koefisien Korelasi ( $R^2$ )	
	Orde Nol	Orde Satu
5 mg/L	0,3404	0,9122
10 mg/L	0,3635	0,9345
15 mg/L	0,3937	0,9240
20 mg/L	0,5147	0,9303

Laju reaksi dari reaksi fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida mengikuti hukum laju reaksi orde satu. Hal ini dapat dilihat pada perbandingan koefisien korelasi ( $R^2$ ) kedua hukum laju reaksi tersebut pada tabel 4.1, dimana koefisien korelasi dari hukum laju

reaksi orde satu lebih besar dibandingkan hukum laju reaksi orde nol untuk keempat konsentrasi metilen biru yang berbeda, sehingga perhitungan parameter model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* (LH) mengikuti hukum laju reaksi orde satu sesuai dengan persamaan 2.4 berikut.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{k_r} + \frac{1}{k_r K} \left( \frac{1}{C} \right) \quad (4.4)$$

Persamaan 2.4 dianalisis dengan plotting grafik dimana sumbu x adalah  $\frac{1}{C_0}$  dan sumbu y adalah  $\frac{1}{r_0}$  sebagai fungsi dari keadaan awal. Grafik yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut.



**Gambar 4. 10** Model kinetika *Langmuir-Hinshelwood*

Parameter model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* dihitung melalui intersep dan slope yang diperoleh dari grafik pada Gambar 4.10, sehingga diperoleh nilai konstanta reaksi

fotokatalisis ( $k_f$ ) sebesar  $2,2621 \text{ L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$  dan nilai konstanta *Langmuir-Hinshelwood* (K) sebesar  $0,0248 \text{ Lmg}^{-1}$ .

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Studi kinetika fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida di bawah penyinaran lampu UV-LED telah berhasil dilakukan. Seng oksida yang digunakan disintesis melalui metode kopresipitasi. Seng oksida hasil sintesis memiliki struktur kristal heksagonal, ukuran partikel 0,125-3  $\mu\text{m}$ , luas permukaan spesifik ( $S_{\text{BET}}$ ), volume pori meso dan volume pori mikro masing-masing sebesar 60,20  $\text{m}^2/\text{g}$ , 0,541  $\text{cm}^3/\text{g}$  dan 0,020  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

Reaksi fotokatalisis metilen biru oleh seng oksida mengikuti hukum laju reaksi orde satu. Analisis model kinetika Langmuir-Hinshelwood diperoleh nilai konstanta reaksi fotokatalisis ( $k_r$ ) dan konstanta Langmuir-Hinshelwood ( $K$ ) masing-masing sebesar 2,2621  $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{menit}^{-1}$  dan 0,0248  $\text{Lmg}^{-1}$ .

### **5.2 Saran**

Perlu adanya penambahan material yang mampu mengadsorpsi metilen biru, yaitu karbon aktif, silika, ZSM, dan lain-lain.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajmal, A., Majeed, I., Malik, R. N., Idriss, H., Nadeem, M. A. 2014. Principles and Mechanisms of Photocatalytic Dye Degradation on TiO<sub>2</sub> Based Photocatalysts: A Comparative Overview. *Journal Of Royal Society In Chemistry*, 4: 37003-37026.
- Al-Othman, Z. A. 2012. A Review: Fundamental Aspects of Silicate Mesoporous Materials. *Journal of Materials*, 5: 2874-2902.
- Allen, R. L. M. 1971. *Colour Chemistry*. New York: Meredith Corporation.
- Atkins, P. W., Overton, T. L., Rourke, J. P., Weller, M. T., Armstrong, F. A., Hagerman, M. 2010. *Inorganic Chemistry, Fifth Edition*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Babalola, J.O., Koiki, B.A., Eniyewu, Y., Salimonu, A., Olowoyo, J.O., Oninla, V.O., Alabi, H.A., Ofomaja, A.E., Omorogie, M.O. 2016. Adsorption Efficacy of Cedrela Odorata Seed Waste for Dyes: Non Linear Fractal Kinetics and Non Linear Equilibrium Studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4:3527–3536.
- Bak, J., Ladefoged, S. D., Tvede, M., Begovic, T., Gregersen, A. 2010. Disinfection of Pseudomonas Aeruginosa Biofilm Contaminated Tube Lumens with Ultraviolet C Light Emitting Diodes. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 26: 31-38.
- Bankole, P. O., Adekunle, A. A., Govindwar, S. P., 2018. Enhanced Decolorization and Biodegradation of Acid Red 88 Dye by Newly Isolated Fungus, Achaetomium Strumarium. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6: 1589–1600.
- Barve, A. K., Gadegone, S. M., Lanjewar, M. R., Lanjewar, R. B. 2015. Synthesis of ZnO Nanomaterial by Precipitation Method and Its Characterization. *International Journal of Chemical and physical Sciences*, 4: 432-439.

- Behera, J. K. 2012. Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles. *Master of Sciences Thesis*. School of National Institute of Technology. India.
- Brame, J., Griggs, C. 2016. *Surface Area Analysis Using the Brenauer-Emmet-Teller (BET) Method*. United State: Enviromental Quality and Technology Research Program.
- Brandt, L.. 2014. *X-Ray Diffractometer: User Guide*. Interational Ocean Discovery Program.
- Chen, H. W., Ku, Y., Wu, C. Y. 2007. Effect of UV-LED Optical Characteristic of Temporal Behaviour of O-Cresol Decomposition by UV/TiO<sub>2</sub> Process. *Journal of Chemistry Technology on Bioethanol*, 82: 626-635.
- Chen, J., Lei, W., Chai, W., Zhang, Z., Li, C., Zhang, X. 2008. High Field Emission Enhancement of ZnO Nanorods via Hydrothermal Synthesis. *Journal of Solid-State Electronics*, 52: 294-298.
- Chen, X., Mao, S. S. 2007. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Proprties, Modification, and Application. *Journal of American Chemical Society*, 107: 2891-2959.
- Cullity, B. D. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction, Second Edition*. Indiana: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Dianggoni, I., Saputra, E., Pinem, J. A. 2017. Pengolahan Zat Warna Tekstil (Rhodamine B) dengan Teknologi AOP (Advance Oxidation Processes) menggunakan Katalis Ce@Carbon Sphere dan Oksidan Peroxymonosulfat. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 4: 1-7.
- Elijah, O. C., Nwabanne, J. T. 2014. Adsorption Studies on The Removal of Eriochrome Black-T from Aqueous Solution using Nteje Clay. *Ournal of SOP Transactions on Applied Chemistry*, 1: 14-25.
- Erwin, C. S., Zu, L., Haftel, M. I., Efros, A. L., Kennedy, T. A., Norris, D. J. 2005. Doping Semiconductor Nanocrystals. *Journal of Nature*, 436: 91-94.
- Eseptia, P. J. P., Soares, N. F. F., Coimbra, J. S. R., Andrade, N. J., Cruz, R. S., Medeiros, A. A. 2012. Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity, and

- Food Packaging Applications. *Journal of Food Bioprocess Technology*, 5: 1447-1464.
- Faber, P., Ronald, A., Millar, B. W. 2005. Methylthioninium Chloride: Pharmacology and Clinical Application with Special Emphasis on Nitric Oxide Mediated Vasodilatory Shock during Cardiopulmonary bypass. *Journal of Anaesthesia*, 60: 575-587.
- Fujishima, A., Rao, T., Tryk, D. 2000. Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 1: 1-21.
- Guo, H. L., Zhu, Q., Wu, X. L., Jiang, Y. F., Xie, X., Xu, A. W. 2015. Oxygen Deficient ZnO<sub>1-x</sub> Nanosheets with High Visible Light Photocatalytic Activity. *Journal of Royal Society on Chemistry*, 7: 7216-7223.
- Gupta, A. K., Pal, A., Sahoo, C. 2006. Photocatalytic Degradation of a Mixture of Crystal Violet (Basic Violet 3) and Methyl Red Dye in Aqueous Suspensions Using Ag<sup>+</sup> Doped TiO<sub>2</sub>. *Journal of Dyes and Pigments*, 69: 224-232.
- Haber, J., Block, J., Delmon, B. 1995. Manual of Methods and Procedures for Catalyst Characterization. *Journal of Pure and Applied Chemistry*, 67: 1257-1306.
- Hagen, J. 2006. *Industrial Catalysis: a Practical Approach/Jens Hagen Second Edition*. Weinheim: Wiley.
- Harisman, F. dan Sugiarso, D. 2014. Pengaruh Waktu Penggilingan terhadap Kadar Zat Besi dalam Ampas dari Sari Kedelai menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 3: 2337-3520.
- Hasnat, M. A., Uddin, M. M., Samed, A. J. F., Alam, S. S., Hossain, S. 2007. Adsorption and Photocatalytic Decolorization of a Synthetic Dye Erythrosine on Anatase TiO<sub>2</sub> and ZnO Surfaces. *Journal of Hazardous Materials*, 147: 471-477.
- Hosni, M., Kusumawati, Y., Farhat, S., Jouini, N., Pauporte, Th. 2014. Effects of Oxide Nanoparticle Size and Shape on Electronic Structure, Change Transport, and Recombination in Dye-Sensitized Solar Cell

- Photoelectrodes. *Journal of Physical Chemistry*, 118: 16791-16798.
- Ibrahim, M. A. S. 2012. Commercial Evaluation of UV-LED in Water Treatment Application. *Master of Sciences Thesis*. Charfield University. United Kingdom.
- Ibrahim, S. A., Karima, A. M., Khattab, A. A., Emam, M. T. H. 2013. UV-Mutagenesis in Some White Rote Fungi for Increasing Decolorization of Textile Dyes. *Journal of Applied Science Research*, 9: 5850-5857.
- Iliev, V., Tomova, D., Bilyarska, L., Eliyas, A., Petrov, L. 2006. Photocatalytic Properties of TiO<sub>2</sub> Modified with Platinum and Silver Nanoparticles in The Degradation of Oxalic Acid in Aqueous Solution. *Journal of Applied Catalysis B*, 63: 266-271.
- Jia, P., Tan, H., Liu, K., Gao, W. 2018. Synthesis, Characterization and Photocatalytic Property of Novel ZnO/Bone Char Composite. *Journal of Material Research Bulletin*, 102: 45-50.
- Kang, H. W., Leem, J., Yoon, S. Y., Sung, H. J. 2012. Continuous Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles in a Microfluidic System for Photovoltaic Application. *Journal Of Royal Society In Nanoscale*, 6: 2840-2846.
- Kazeminezhad, I., Sadollahkhani, A. 2016. Influence of pH on The Photocatalytic Activity of ZnO Nanoparticles. *Journal of Material Sciences Materials in Electronics*, 27:4206–4215
- Kementrian Perindustrian, 2018. *Prospect of Textile Industry*. Jakarta: Kemenperin.
- Khan, M. M., Adil, S. F., Al-Mayouf, A. 2015. Metal Oxides As Photocatalysts. *Journal of Saudi Chemistry Society*, 19: 462-464.
- Khezrianjoo, S., Revanasidappa, H. D. 2012. Langmuir-Hinshelwood Kinetic Expression for the Photocatalytic Degradation of Metanil Yellow Aqueous Solution by ZnO Catalyst. *Chemical Science Journal*, 2012: 79-85.
- Kittle, C. 1976. *Introduction to Solid State Physics*. United State: Jhon Wiley and Sons.

- Kumar, K. V., Porkodi, K., Rocha, F. 2008. Langmuir-Hinshelwood Kinetic: A Theoretical Study. *Journal of Catalysis Communication*, 9: 82-84.
- Kusumawati, Y., Massin, J., Olivier, C., Toupance, T., Ivansyah, A. L., Martoprawiro, M. A., Prijamboedi, B. Radiman, C. L., Pauporte, Th. 2017a. Combined Computational and Experiment Study of Carbazole Dyes for Iodide and Cobalt-based ZnO DSSCs. *Journal of Photochemistry and Photobiology on Chemistry*, 341: 69-77.
- Kusumawati, Y., Pauporte, Th., Viana, B., Zouzelka, R., Remzova, M., Rathousky, J. 2017b. Mesoporous TiO<sub>2</sub>/Graphene Composites Films for the Photocatalytic Degradation of Eco-Persistent Pollutan. *Journal of Oxide-based Materials and Device VIII*, 10105: 1010529.
- Lachheb, H., Puzenat, E., Houas A., Ksibi, M. 2002. Photocatalytic Degradation of Various Types of Dyes (Alizarin S, Crocein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in Water by UV-irradiated Titania. *Journal of Applied Catalysis*, 39: 75-90.
- Ladhe, U. V., Wankhede, S. K., Patil, V. T., Patil, P. R. 2011. Removal of Erichrome Black T from Synthetic Wastewater by Cotton Waste. *E-Journal of Chemistry*, 8: 803-808.
- Li, R. 2017. Latest Progress in Hydrogen Production from Solar Water Splitting via Photocatalysis, Photoelectrochemical, and Photovoltaic-photoelectrochemical Solutions. *Chinese Journal of Catalysis*, 38: 5-12.
- Li, Y., Sun, S., Ma, M., Ouyang, Y., Yan, W. 2008. Kinetic Study and Model of The Photocatalytic Degradation of Rhodamine B (RhB) by TiO<sub>2</sub>-Coated Activated Carbon Catalyst : Effect of Initial RhB Content, Light Intensity, and TiO<sub>2</sub> Content in The Catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 142: 147-155.
- Liu, K., Zhu, L., dan J., Tei. 2012. Mesoporous TiO<sub>2</sub> Micro-Nanometer Composite Structure: Synthesis, Optoelectric Properties, and Photocatalytic Selectivity. *International Journal of Photoenergy*, 2012: 1-9.

- Liu, T., Li, Y., Du, Q., Sun, J., Jiao, Y., Yang, G., Wang, Z., Xia Y., Zhang, W., Wang, K., Zhu, H., Wu, D. 2012. Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution by Graphene. *Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 90: 197-203.
- Lo, J. C. Y., Michael, A., Darrac, M. D., Richard, M. P. H., Clark, M. D. 2014. A Review of Methylene Blue Treatment for Cardiovascular Collapse. *Journal of Emergency Medicine*, 46: 670-679.
- Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado, M. I., Blanco, J., Gernjak, W. 2009. Decontamination and Disinfection of Water by Solar Photocatalysis: Recent Overview and Trends. *Journal of Catalyst Today*, 147: 1–59.
- Martin-Somer, M., Pablos, C., Grieken, R., Marugan, J. 2017. Influence of Light Distribution on the Performance of Photocatalytic Reactors: LED vs Mercury Lamps. *Journal of Applied Catalyst B*, 215: 1-7.
- Miclescu, A., Wicklund, L. 2010. Methylen Blue: An Old Drug with New Indication. Department of Surgical Sciences/Anesthesiology and Intensive Care Medicine.
- Mikrajuddin, A., Khairurrijal. 2009. Review Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 2: 1-9.
- Mu'azu, N. D., Jarrah, N., Kazeem, T. S., Zubair, M., Al-Harhi, M. 2018. Bentonite-Layered Double Hydroxide Composite for Enhanced Aqueous Adsorption of Eriochrome Black T. *Journal of Applied Clay Sciences*, 161: 23–34.
- Prabhakar, M., Mark, D. 2002. *Ultraviolet Spectroscopy and UV Lasers*. Marcel Dekker. New York.
- Petit, M., Michez, L., Raimundo, J. M., Malinowski, T., Dumas, P. 2016. An introduction to Photocatalysis through methylene blue photodegradation. *European Journal of Physics: European Physics Society*, 37: 065808.
- Prevey, P. S., Berndt, C. C., Park, M. 2000. X-Ray Diffraction Characterization of Crystallinity and Phase Composition in



- Plasma-Sprayed Hydroxylapatite Coatings. *Journal of Thermal Spray Energy*, 9: 369-376.
- Rajeshwar, K., Osugi, M. E., Chanmanee, W., Chenthamarakshan, C. R., Zanoni, M., Kajitvichyanukul, P., Krishnan-Ayer, R. 2008. Heterogeneous Photocatalytic Treatment of Organic Dyes In Air and Aqueous Media. *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 9: 171–192.
- Rehman, S., Ullah, R., Butt, A. M, Gohar, N. D. 2009. Strategies of Making TiO<sub>2</sub> and ZnO Visible Light Active. *Journal of Hazardous Materials*, 170: 560–569.
- Reza, K. M., Kurny, A. S., Gulshan, F. (2015). Parameters Affecting The Photocatalytic Degradation of Dyes Using TiO<sub>2</sub>: A Review. *Journal of Applied Water Sciences*, 7: 1569-1578.
- Sadhukhan, B., Chatteraj, S., Mondal, N. K. 2016. Optimisation Using Central Composite Design (CCD) and The Desirability Function for Sorption of Methylene Blue from Aqueous Solution Onto Lemna Major. *Journal of Modern Science*, 2: 145-155.
- Sani, A. A., Atiek, R. N., Rakhmawaty, D. 2009. Pembuatan Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>-Zeolit Alam Asal Tasikmalaya untuk Fotodegradasi Methylene Biru. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 8: 6-14.
- Saravanan, R., Gupta, V. K., Narayanan, V., Stephen, A. 2013. Comparative Study on Photocatalytic Activity of ZnO Prepared by Different Methods. *Journal of Molecular Liquids*, 181: 133–141.
- Sharma, I. D., Tripathi, G. K., Sharma, V. K., Tripathi, S. N., Kurchania, R., Kant, C., Sharma, A. K., Saini, K. K. 2015. One-Pot Synthesis of Three Bismuth Oxyhalides (BiOCl, BiOBr, BiOI) and Their Photocatalytic Properties in Three Different Exposure Conditions. *Journal of Cogent Chemistry*, 1: 1076371.
- Shie, J. L., Lee, C. H., Chiou, C. S., Chang, C. T., Chang, C. C., Chang, C. Y. 2008. Photodegradation Kinetic of Formaldehyde Using Light Sources of UVA, UVC and UVLED in The Presence of Composed Silver Titanium

- Oxide Photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials*, 155: 164-172.
- Smith, K. C. A., Oatley, C. W. 1995. The Scanning Electron Microscope and Its Fields of Application. *British Journal of Applied Physics*, 6: 391-399.
- Tayade, R. J., Natarajan, T., Bajaj, H. C. 2009. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye Using Ultraviolet Light Emitting Diodes. *Journal of India Engineering Chemistry Research*, 48: 10262-10267.
- Tok, A. I. Y., Boey, F. Y. C., Du, S. W., Wong, B. K. 2006. Flame Spray Synthesis of  $ZrO_2$  Nanoparticles Using Liquid Precursors. *Journal of Materials Sciences and Engineering*, 130: 114-119.
- Tseng, T. K., Lin, Y. S., Chen, Y. J., Chu, H. 2010. A Review of Photocatalysts by Sol-Gel Method for VOCs Removal. *International Journal of Molecular Sciences*, 11: 2336-2361.
- Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G., Orhon, D., 1996. Color Removal from Textile Wastewaters. *Journal of Water Science and Technology*, 34: 9-16.
- Wahab, R., Ansari, S. G., Kim, Y. S., Song, M., Shin, H. S. 2009. The Role of pH Variation on the Growth of Zinc Oxide Nanostructures. *Journal of Applied Surface Science*, 255: 4891-4896.
- Wang, X., Jiang, C., Hou, B., Wang, Y., Hao, C., Wu, J., 2018. Carbon Composite Lignin-Based Adsorbents for The Adsorption of Dyes. *Journal of Chemosphere*, 206: 587-596.
- Wellia, D. V., Kusumawati, Y., Diguna, L. J., Amal, M. I. 2017. Introduction of Nanomaterials for Photocatalysis. *Nanocomposite for Visible Light-induced Photocatalysis*, 1-17.
- Wicklund, L., Basu, S., Miculescu, A. 2007. Neuro and Cardioprotective Effects of Blockade of Nitric Oxide Action by Administration of Methylene Blue. *Annals of the New York Academy of Science*, 1122: 231-244.

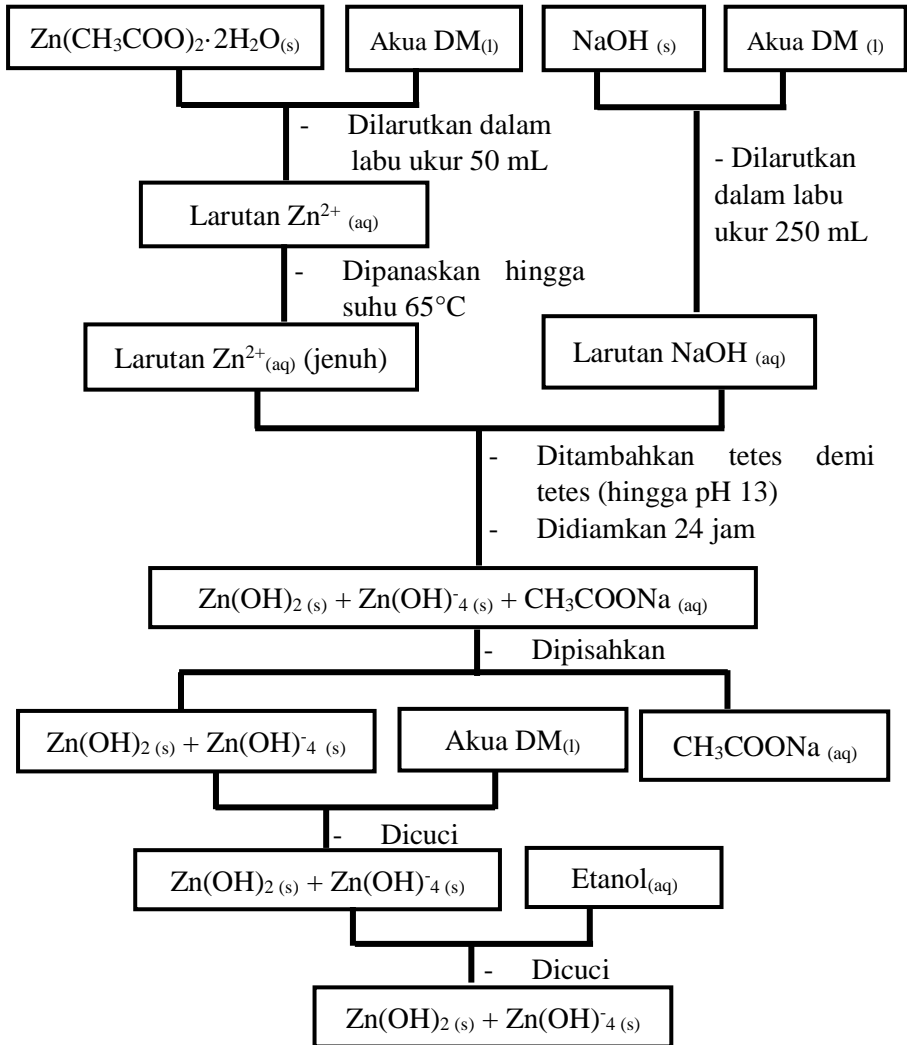
- Wurtele, M. A., Kolbe, T., Lipsz, M., Kulberg, A., Weyers, M., Kneissl, M., Jekel, M. 2011. Application of GaN-Based Ultraviolet C Light Emitting Diodes (UV-LEDs) for Water Disinfection. *Journal of Water Research*, 45: 1481-1489.
- Xiangyang, M., Hui, Z., Yujie, J., Jin, X., Deren, Y. 2005. Sequential Occurrence of ZnO Nanoparticles, Nanorods, and Nanotips during Hydrothermal Process In A Dilute Aqueous Solution. *Journal of Material Letters*, 59: 3393-3397.
- Xu, Y., Jin, J., Li, X., Meng, H., Wang, T., Zhang, X. 2016. Simple Synthesis of ZnO Nanoflowers and Its Photocatalytic Performances Toward the Photodegradation of Metamitron. *Materials Research Bulletin*, 76: 235-239.
- Zeiss, Carl. 2011. *SIGMA™ Field Emission Scanning Electron Microscope*. A Carl Zeiss SMT AG Company.
- Zhang, F., Chen, X., Wu, F., Ji, Y. 2016. High Adsorption Capability and Selectivity of Nanoparticles for Dye Removal. *Journal of Colloids and Surface*, 509: 474-483.
- Zhao, Y., Huang, X., Tan, X., Yu, T., Li, X., Yang, L., Wang, S.. 2016. Fabrication of BiOBr Nanosheets@TiO<sub>2</sub> Nanobelts p-n Junction Photocatalysts for Enhanced Visible-Light Activity. *Journal of Applied Surface Science*, 365: 209-217.
- Zou, Y., Gong, Y., Lin, B., Mellot, N. P. 2016. Photodegradation of Methylene Blue in the Visible Spectrum: An Efficient W<sup>6+</sup> Ion Doped Anatase Titania Photocatalyst via A Solvothermal Method. *Vacuum*, 126: 63-69.
- Zouzelka, R., Kusumawati, Y., Remzova, M., Rathousky, J., Pauporte, Th. 2016. Photocatalytic Activity of Porous Multiwalled Carbon Nanotube-TiO<sub>2</sub> Composite Layer for Pollutant Degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 317: 52-59

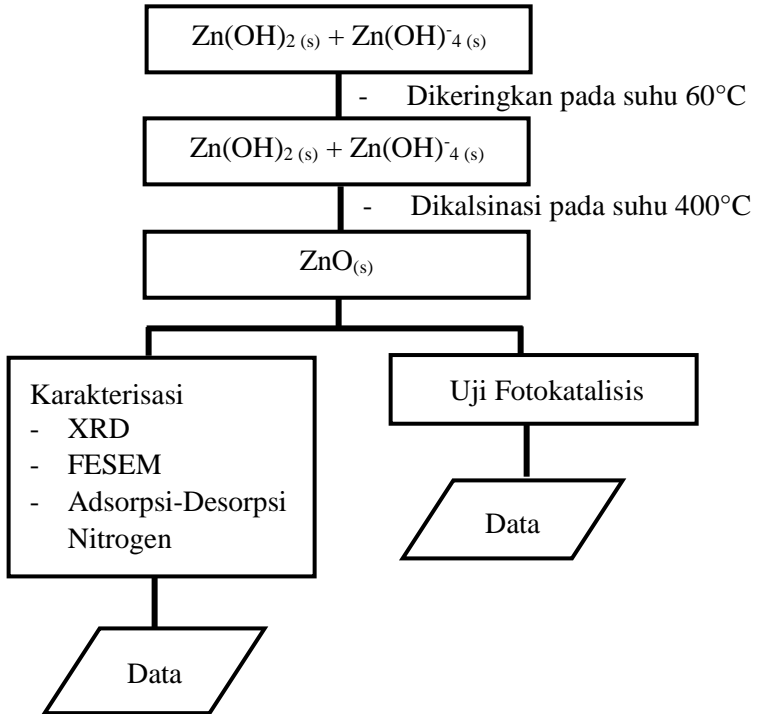
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A: SKEMA KERJA

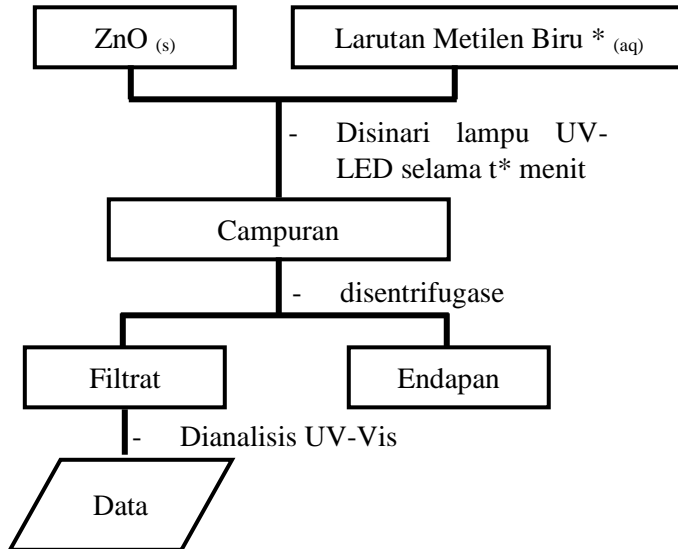
#### A.1 Sintesis Seng Oksida





**Gambar A. 1** Prosedur Sintesis Seng Oksida

## A.2 Uji Aktivitas Fotokatalisis



**Gambar A. 2** Prosedur Uji Aktivitas Fotokatalisis

**Tabel A. 1** Data Variasi Waktu Fotokatalisis dan Konsentrasi Larutan Metilen Biru

$t^*$ (menit)		Konsentrasi Metilen Biru (mg/L)
15	90	5
30	105	10
45	120	15
60		20
75		

## LAMPIRAN B: DATABASE POWDER DIFFRACTION FILE

### Name and formula

Reference code: 00-036-1451  
 Mineral name: Zincite, syn  
 Compound name: Zinc Oxide  
 Common name: zinc white, chinese white  
 Empirical formula: OZn  
 Chemical formula: ZnO

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 Space group: P63mc  
 Space group number: 186

a (Å): 3.2498  
 b (Å): 3.2498  
 c (Å): 5.2066  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 120.0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 47.62  
 Z: 2.00

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	2.81430	31.770	57.0
2	0	0	2	2.60330	34.422	44.0
3	1	0	1	2.47590	36.253	100.0
4	1	0	2	1.91110	47.540	23.0
5	1	1	0	1.62470	56.604	32.0
6	1	0	3	1.47710	62.865	29.0
7	2	0	0	1.40720	66.378	4.0
8	1	1	2	1.37820	67.962	23.0
9	2	0	1	1.35820	69.103	11.0
10	0	0	4	1.30170	72.565	2.0
11	2	0	2	1.23800	76.956	4.0
12	1	0	4	1.18160	81.372	1.0
13	2	0	3	1.09310	89.610	7.0
14	2	1	0	1.06380	92.788	3.0
15	2	1	1	1.04230	95.299	6.0
16	1	1	4	1.01600	98.606	4.0
17	2	1	2	0.98460	102.952	2.0
18	1	0	5	0.97660	104.139	5.0
19	2	0	4	0.95560	107.431	1.0
20	3	0	0	0.93810	110.396	3.0
21	2	1	3	0.90690	116.288	8.0
22	3	0	2	0.88260	121.562	4.0
23	0	0	6	0.86770	125.184	1.0
24	2	0	5	0.83700	133.943	3.0
25	1	0	6	0.82930	136.514	1.0
26	2	1	4	0.82370	138.511	2.0
27	2	2	0	0.81250	142.905	3.0

**Gambar B. 1** Database Powder Diffraction dari Seng Oksida



## LAMPIRAN C: DATA PENGUKURAN SBET

Quantachrome QuadraWin - Data Acquisition and Reduction  
for QuadraSorb SI  
©2006-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved.  
version 7.1



<b>Analysis</b>			<b>Report</b>		
Operator:	operator	Date: 5/22/2019	Operator:	operator	Date: 2019/05/23
Sample ID:	14	Filename:	507_ZnO_020519_QW1_190502_01	Description:	sf128032019.QPS
Sample Desc:		Comment:			
Sample weight:	0.0424 g	Sample Volume:	0.0133 cc	Sample Density:	3.1800 g/cc
Analysis Time:	387.3 min	End of run:	5/22/2019 2:20:41	Instrument:	QuadraSorb Station 1
Void Vol.:	Cell Cal. ID: 14	Run mode:	Standard	Instrument version:	7.01
Outgas Time:	3.0 hrs	Outgas Temp:	300.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K		
Press. Tolerance:	0.1000.100 (ads/des)	Equil time:	200000 sec (ads/des)	Equil timeout:	400400 sec (ads/des)

### Multi-Point BET

#### Data Reduction Parameters Data

<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	Temperature	77.350K
Molec. Wt.:	28.013	Cross Section:	16.200 Å
		Liquid Density:	0.808 g/cc

#### Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1] [1/g]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W(Po/P) - 1] [1/g]
2.46525e-02	12.8480	1.5740e+00	1.77384e-01	17.1829	1.0041e+01
7.65413e-02	14.9243	4.4436e+00	2.28283e-01	18.2823	1.2946e+01
1.26414e-01	16.0918	7.1951e+00	2.79211e-01	19.4463	1.5938e+01

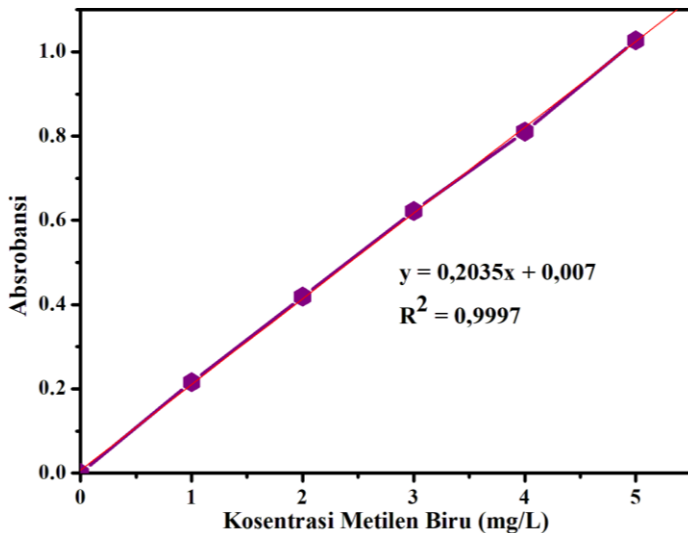
#### BET summary

Slope *	56.309 1/g
Intercept *	1.250e-01 1/g
Correlation coefficient, r *	0.999928
C constant*	447.828
Surface Area *	61.708 m <sup>2</sup> /g

**Gambar C. 1** Output Pengukuran Luas Permukaan BET Seng Oksida

**LAMPIRAN D Uji Katalisis****D.1 Pengukuran Absorbansi Larutan Standar dengan Spektrofotometer UV-Vis****Tabel D. 1** Hasil Absorbansi Larutan Metilen Biru

Konsentrasi Metilen Biru (mg/L)	Absorbansi
1	0,216
2	0,419
3	0,622
4	0,811
5	1,027

**Gambar D. 1** Kurva Kalibrasi Larutan Standar Metilen Biru

## D.2 Perhitungan

### a. Hasil Adsorbansi Larutan Metilen Biru Sebelum dan Setelah Pengujian

**Tabel D. 2** Data Adsorbansi Larutan Hasil Uji (1) Sebelum Pengujian (2) Setelah Pengujian dengan Penyinaran (3) Tanpa Penyinaran

Absorbansi		Fp	Konsentrasi	(1)
Sebelum	Sesudah (Fp)			
0,987			4,8157	
1,799	0,892	2	8,6978	
2,572	0,862	3	12,6044	
3,551	0,889	4	17,3366	

5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L	(2)
0,057	0,146	0,32	0,996	
0,034	0,079	0,156	0,5005	
0,022	0,0565	0,09	0,1955	
0,0165	0,035	0,0605	0,125	
0,0125	0,022	0,038	0,0905	
0,01	0,0165	0,022	0,0605	
0,0085	0,011	0,0195	0,0385	
0,0075	0,008	0,0145	0,0275	

0,21	0,4315	0,884	1,000	(3)
0,1985	0,408	0,872	0,944	
0,187	0,39	0,8295	0,926	
0,172	0,365	0,8205	0,9085	
0,157	0,3245	0,792	0,8875	
0,161	0,333	0,805	0,893	
0,166	0,341	0,809	0,913	
0,17	0,347	0,816	0,925	

Contoh perhitungan:

Absorbansi Larutan Metilen Biru 5 mg/L = 0,9875

Y = 0,2035X + 0,007

(0,9875-0,007) = 0,2035X

0,9805 = 0,2035X

X = 4,8157

**b. Perbandingan Pengurangan Metilen Biru (a) tanpa penyinaran (b) dengan penyinaran**

**Tabel D. 3** Perbandingan efek penyinaran dan tanpa penyinaran terhadap penghilangan metilen biru

(a)				
Waktu (menit)	C/C <sub>0</sub>			
	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
15	0,2071	0,4797	0,6838	0,8444
30	0,1954	0,4531	0,6745	0,7968
45	0,1837	0,4328	0,6413	0,7815
60	0,1684	0,4045	0,6343	0,7666
75	0,1531	0,3588	0,6121	0,7487
90	0,1571	0,3684	0,6222	0,7534
105	0,1622	0,3774	0,6253	0,7704
120	0,1663	0,3842	0,6308	0,7806

(b)				
Waktu (menit)	C/C <sub>0</sub>			
	5 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
15	0,0510	0,0785	0,1220	0,2803
30	0,0276	0,0407	0,0581	0,1399
45	0,0153	0,0280	0,0324	0,0534
60	0,0097	0,0158	0,0209	0,0334
75	0,0056	0,0085	0,0121	0,0237
90	0,0031	0,0054	0,0058	0,0152
105	0,0015	0,0023	0,0049	0,0089
120	0,0005	0,0006	0,0029	0,0058

**c. Hukum Laju Reaksi Orde Nol dan Orde Satu**

**Tabel D. 4** Hasil Perhitungan Hukum Reaksi Orde Nol dan Satu untuk Konsentrasi Metilen Biru 5 mg/L (a), 10 mg/L (b), 15 mg/L (c) dan 20 mg/L (d)

(a)

Waktu (menit)	$[MB]_{akhir} - [MB]_{awal}$ (mg/L)	$\ln \frac{[MB]_{akhir}}{[MB]_{awal}}$
15	-2,9755	4,5700
30	-3,5917	4,6830
45	-4,1795	4,7420
60	-4,6363	4,7690
75	-5,1828	4,7887
90	-5,7889	4,8010
105	-6,4821	4,8084
120	-7,5807	4,8133

(b)

Waktu (menit)	$[MB]_{akhir} - [MB]_{awal}$ (mg/L)	$\ln \frac{[MB]_{akhir}}{[MB]_{awal}}$
15	-2,5443	8,0147
30	-3,2021	8,3440
45	-3,5768	8,4545
60	-4,1465	8,5602
75	-4,7707	8,6241
90	-5,2274	8,6511
105	-6,0924	8,6781
120	-7,4787	8,6929

(c)		
Waktu (menit)	$[MB]_{\text{akhir}} - [MB]_{\text{awal}}$ (mg/L)	$\ln \frac{[MB]_{\text{akhir}}}{[MB]_{\text{awal}}}$
15	11,0663	-2,1035
30	11,8722	-2,8458
45	12,1966	-3,4309
60	12,3415	-3,8700
75	12,4521	-4,4157
90	12,5307	-5,1417
105	12,5430	-5,3240
120	12,5676	-5,8348

(d)		
Waktu (menit)	$[MB]_{\text{akhir}} - [MB]_{\text{awal}}$ (mg/L)	$\ln \frac{[MB]_{\text{akhir}}}{[MB]_{\text{awal}}}$
15	12,47666	-1,2718
30	14,91155	-1,9670
45	16,41032	-2,9294
60	16,75676	-3,3978
75	16,92629	-3,7436
90	17,07371	-4,1888
105	17,18182	-4,7185
120	17,23587	-5,1481

#### d. Model Kinetika Langmuir-Hinshelwood

**Tabel D. 5** Analisis Model Kinetika Langmuir-Hinshelwood

Konsentrasi Awal Metilen Biru (mg/L)	$K_1$ (menit <sup>-1</sup> )	$\frac{1}{r_0}$ (L/mg.menit)
5	0,0514	3,891
10	0,0509	1,965
15	0,0429	1,554
20	0,0402	1,244

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Klaten Jawa Tengah, 27 Januari 1997. Penulis merupakan anak ke-2 dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 1 Wonocolo (2003-2009), SMPN 1 Taman (2009-2012) dan SMAN 1 Taman (2012-2015). Penulis diterima di Departemen Kimia Fakultas Sains Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 0121154000028. Penulis mendalami bidang pengolahan limbah (fotokatalisis) di bawah bimbingan Dr. Yuly Kusumawati, S.Si., M.Si ([y-kusumawati@chem.its.ac.id](mailto:y-kusumawati@chem.its.ac.id)). Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Kimia ITS (HIMKA-ITS) sebagai *staff* Departemen Riset Teknologi dan Keprofesian (RISTEKPRO), *staff Chemistry Week* 8 tahun 2016 dan *Chemistry Wekk* 9 tahun 2017. Penulis pernah mendapatkan beberapa penghargaan seperti juara harapan 1 Lomba Karya Tulis Al-Qur'an Universitas Diponegoro tahun 2017, Juara 1 Lomba Esai *Water-X* Universitas Brawijaya tahun 2018, Juara 3 Lomba Esai Universitas Bengkulu tahun 2018, *Best of the Best Chemistry Innovation Project* Universitas Indonesia tahun 2018, dan kegiatan lainnya. Penulis juga pernah menjalani kerja praktik di Pusat Penelitian Fisika LIPI Serpong pada tahun 2018. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [rikisubagyo38@gmail.com](mailto:rikisubagyo38@gmail.com) atau nomor Hp **085732829293**.